МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ И РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

ЭЛЕКРОТЕХНИЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 43D659E81F59110FB2CEBF5795FF2768
Владелец: Зубов Владимир Владимирович
Действителен: с 20.08.2025 до 13.11.2026

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ 5
1.1. Цель преподавателя дисциплины 5
1.2. Задачи изучения дисциплины 5
1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины 5
1.4. Содержание дисциплины 6

Часть 2. ДИЭЛЕКТРИКИ 12
2.1. Основные сведения о пробое диэлектриков 12
2.2. Пробой газообразных диэлектриков 13
2.3. Пробой твердых диэлектриков 18
2.4. Практическая работа № 1. Определение электрической прочности твердых и газообразных диэлектриков. Цель работы 21
2.5. Объект исследования 21
2.6. Средства измерения 21
2.7. Рабочее задание 21
2.8. Методические указания по выполнению рабочего задания 22
2.9. Контрольные вопросы 27

Часть 3. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 28
3.1. Основные характеристики магнитных веществ 28
3.2. Физическая природа магнетизма 29
3.3 Классификация веществ по магнитным свойствам 32
3.4. Строение ферромагнетиков 33
3.5. Явления магнитной анизотропии и магнитострикции 36
3.6. Намагничивание ферромагнетика 38
3.7. Свойства ферромагнитных материалов в квазипостоянных магнитных полях 41
3.8. Дифференциальная магнитная проницаемость 44
3.9. Свойства ферромагнетиков в переменных магнитных полях 46
3.10. Индукционный метод определения параметров магнитных материалов с использованием осциллографа 53

3.11. Объект исследования 58
3.12. Средства измерения и вспомогательные средства исследования 59
3.13. Подготовка осциллографа к работе 59
3.14. Калибровка осциллографа и определение масштабов по напряженности и индукции магнитного поля 60
3.15. Подготовка звукового генератора к работе 61
3.16. Практическая работа №1. «Исследование свойств магнитных материалов в магнитных полях постоянной частоты». Цель работы 62
3.17. Рабочее задание 62
3.18. Методические рекомендации к выполнению рабочего задания 63
3.19. Содержание отчета 66
3.20. Вопросы для самоконтроля 67
3.21. Практическая работа №2. «Исследование свойств магнитных материалов в магнитных полях переменной частоты». Цель работы 67
3.22. Рабочее задание 68
3.23. Методические указания к выполнению рабочего задания 68
3.24. Содержание отчета 70
3.25. Вопросы для самоконтроля 70

Часть 4. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗОЛЯЦИИ ДВУХЖИЛЬНОГО КАБЕЛЯ» 72
4.1. Требование к оформлению контрольной работы 72
4.2. Задание на контрольную работу 72
4.3. Методические указания к выполнению контрольной работы 74
4.4. Экзаменационные вопросы 78
Учебно-методические материалы 80

Часть 1
ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель преподавателя дисциплины

В дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение» излагается широкий круг вопросов, связанных со свойствами различных материалов по отношению к электрическому и магнитному полям. Излагаются свойства разновидностей электротехнических материалов, применяемых в технике.

Целью преподавания дисциплины является изложение основных сведений о процессах, происходящих в электротехнических материалах под воздействием электрического и магнитного полей, ознакомление с основными характеристиками и параметрами, посредством которых оцениваются свойства материалов к этим полям, методами их практического определения, ознакомление с основными видами электротехнических материалов, областями и способами их применения.

Дисциплина «Электротехническое и конструкционное материаловедение» является одним из основных предметов, необходимых для последующего успешного освоения специальных дисциплин, изучаемых студентами направления подготовки бакалавров «Электроэнергетика и электротехника».

1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение» студенты должны иметь ясное представление о процессах, происходящих в электротехнических материалах при воздействии на них электрического и магнитных полей, знать основные характеристики и параметры материалов, научится определять их экспериментально, усвоить требования, которым должны удовлетворять материалы при использовании в устройствах, предназначенных для работы в условиях горной промышленности, уметь производить выбор конкретных видов электротехнических материалов.

1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины

Успешное усвоение дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение» базируется на знаниях, полученных студентами при изучении физики (разделы: физика твёрдого тела, электричество, магнетизм),

химии, теоретических основ электротехники (разделы: электрические цепи постоянного и переменного тока, магнитные цепи), электрических измерений (разделы: основы метрологии, методы измерения электрических величин).

1.4. Содержание дисциплины

1.4.1. Введение

Краткий исторический обзор развития производства и использования электротехнических материалов. Значение электротехнических материалов в развитии и совершенствовании современного электромашиностроения.

Роль русских и советских учёных в создании и совершенствовании современных электротехнических материалов.

Предмет дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение». Классификация электротехнических материалов.

Вопросы для самопроверки

1. Какое значение имеют электротехнические материалы в развитии электромашиностроения?
2. Перечислите основные классы электротехнических материалов по свойствам, которыми обладают по отношению к электромагнитному полю.
3. Каковы перспективы развития производства электротехнических материалов?

1.4.2. Диэлектрики

Понятие о диэлектриках. Поляризация диэлектриков и основные виды поляризации.

Классификация диэлектриков. Понятие о диэлектрической проницаемости, абсолютная и относительная диэлектрические проницаемости. Зависимость величины диэлектрической проницаемости от внешних факторов.

Понятие о электропроводности диэлектриков. Удельные объёмное и поверхностное сопротивления и методика их определения.

Диэлектрические потери. Угол диэлектрических потерь. Схемы замещения диэлектриков для учёта диэлектрических потерь. Виды диэлектрических потерь.

Понятие о электрическом пробое диэлектриков. Пробивное напряжение и электрическая прочность. Пробой газообразных диэлектриков. Виды пробоев жидких и твёрдых диэлектриков.

Физико-механические свойства диэлектриков. Основные механические свойства диэлектриков. Нагревостойкость. Классы нагревостойкости. Температура воспламенения и температура вспышки. Морозостойкость и

тропикостойкость. Гигроскопичность и влагопроницаемость. Химические и радиационные свойства.

Вопросы для самопроверки

1. Какие вещества называются диэлектриками?
2. По каким признакам классифицируются диэлектрики?
3. Какой процесс называется поляризацией диэлектриков?
4. Как происходит электронная поляризация?
5. Как зависит диэлектрическая проницаемость от температуры и частоты электрического поля при электронной поляризации?
6. Как происходит ионная поляризация, и в каких веществах она наблюдается?
7. Как происходит дипольная поляризация?
8. Как зависит величина диэлектрической проницаемости от температуры и частоты электрического поля?
9. Как происходит ионно-релаксационная, электронно-релаксационная и миграционная (структурная) поляризации?
10. Как осуществляется спонтанная поляризация и для каких диэлектриков она характерна?
11. На какие группы подразделяются диэлектрики в соответствии с видами поляризации, которыми они обладают?
12. Как зависит диэлектрическая проницаемость газообразных диэлектриков от давления и температуры, величины напряжённости и частоты внешнего электрического поля?
13. Как зависит диэлектрическая проницаемость жидких диэлектриков от температуры, величины напряженности и частоты электрического поля?
14. Как зависит диэлектрическая проницаемость твёрдых диэлектриков от температуры, величины напряженности и частоты электрического поля?
15. Как определяется диэлектрическая проницаемость сложных диэлектриков?
16. Назовите причины возникновения электрического тока в диэлектрике под воздействием внешнего электрического поля.
17. Что такое объёмное и поверхностное удельные сопротивления и как они определяются?
18. Как зависит электропроводность газообразных диэлектриков от напряжения и почему?
19. Чем обуславливается электропроводность твёрдых диэлектриков и как она зависит от температуры и напряжённости электрического поля?
20. Чем обуславливается электропроводность жидких диэлектриков, как она зависит от температуры и напряжённости электрического поля?
21. Какие потери называются диэлектрическими?
22. Какой угол называется углом диэлектрических потерь?

23. Нарисуйте схемы замещения диэлектрика и соответствующие им векторные диаграммы для учёта величины диэлектрических потерь.
24. Установите связь между параметрами параллельной и последовательной схем замещения диэлектрика с потерями.
25. Какие виды диэлектрических потерь существуют в диэлектриках?
26. Какое явление называется электрическим пробоем диэлектриков?
27. Каким образом происходит пробой газообразных диэлектриков?
28. От каких факторов зависит электрическая прочность газообразных диэлектриков?
29. Объясните, как осуществляется электрический пробой жидких диэлектриков с высокой степенью очистки?
30. Как осуществляется электрический пробой технически чистых диэлектриков?
31. Назовите виды пробоев твёрдых диэлектриков.
32. Как происходит электрический, электротепловой и электрохимический пробой?
33. Что такое гигроскопичность диэлектрика и как она влияет на его электрические свойства?
34. Перечислите основные механические свойства диэлектриков.
35. Назовите основные параметры, с помощью которых характеризуются тепловые свойства диэлектриков.
36. Перечислите классы нагревостойкости диэлектриков и дайте краткую характеристику каждого из них.

1.4.3. Изоляционные материалы

Газообразные изоляционные материалы. Сравнительные характеристики основных газообразных изоляционных материалов и области их применения.

Жидкие изоляционные материалы. Нефтяные масла. Трансформаторное масло, его основные харктеристики и свойства, старение и регенерация, методы испытаний и области применения.

Синтетические жидкие диэлектрики, сравнительные характеристики и области применения. Компаунды.

Полимерные изоляционные материалы. Волокнистые изоляционные материалы и слоистые пластики.

Слюда и материалы на основе слюды. Керамика и стекло.

Вопросы для самопроверки

1. Какие из газообразных изоляционных материалов нашли наибольшее практическое применение?
2. Произведите сравнительный анализ свойств газообразных изоляционных материалов.
3. В чём заключается старение трансформаторного масла и как оно восстанавливается?

4. Какими параметрами характеризуется трансформаторное масло как электроизоляционный материал?
5. Перечислите основные синтетические жидкие диэлектрики, используемые на практике, их основные свойства и области применения.
6. Какие органические высокомолекулярные изоляционные материалы, используемые на практике, вам известны?
7. Какими свойствами обладают компаунды и основные области их применения?

1.4.4. Магнитные материалы

Природа магнетизма. Условия возникновения ферромагнитных свойств у веществ. Классификация веществ по магнитным свойствам.

Строение ферромагнетиков. Явление магнитной анизотропии и магнитострикции. Использование этих явлений в технике.

Основные характеристики магнитных материалов. Петля гистерезиса и основная кривая намагничивания. Остаточная индукция и коэрцитивная сила, индукция технического насыщения.

Относительная и абсолютная магнитные проницаемости. Потери на гистерезис и вихревые токи при перемагничивании в переменных магнитных полях. Явление вытеснения магнитного поля и его последствия.

Магнитомягкие, магнитотвёрдые материалы и магнитные материалы специального назначения.

Разновидности магнитных материалов. Листовые электротехнические стали и пермаллой, основные характеристики и применение.

Вопросы для самопроверки

1. Какие элементарные круговые точки существуют в атоме?
2. Какой круговой ток создаёт наибольший магнитный момент в атоме?
3. Чем объяснить то, что не у всех химических элементов атомы обладают собственным магнитным моментом?
4. Как называются области в ферромагнетиках, в пределах которых магнитные моменты атомов ориентированы параллельно?
5. Как происходит намагничивание ферромагнетиков?
6. Какое явление в ферромагнетиках называется магнитной анизотропией?
7. Где и как учитывается явление магнитной анизотропии?
8. В чём заключается явление магнитострикции и где оно используется?
9. Чем отличается основная кривая намагниченности от петли гистерезиса?
10. Назовите основные характеристики ферромагнитных материалов.

11. Как зависит величина магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля?
12. Как зависит магнитная проницаемость от частоты переменного магнитного поля?
13. Как расшифровать обозначения марок электротехнических сталей?
14. Назовите основные характеристики листовых электротехнических сталей и области их применения.
15. Что представляют собой сплавы пермаллои?
16. В чём преимущество холоднокатаных сталей перед горячекатаными?
17. Какие основные виды магнитотвёрдых материалов используется на практике?
18. Какие материалы специального назначения используются на практике?
19. Что представляют собой ферриты и в чём их преимущество перед другими видами магнитных материалов?

1.4.5. Полупроводники

Понятие о полупроводниках. Классификация полупроводников. Понятия о видах электропроводности полупроводников.

Вопросы для самопроверки

1. Какие вещества называются полупроводниками?
2. Какие виды электропроводности свойственны собственным полупроводникам?
3. Как получить полупроводник с основной электронной электропроводностью?
4. Как получить полупроводник с основной дырочной электропроводностью?
5. Как зависит удельная электропроводность полупроводников от температуры?
6. Как влияет механическая деформация на электропроводность полупроводника?
7. Как зависит электропроводность полупроводников от частоты и интенсивности световой энергии?
8. Как влияет напряжённость электрического поля на электропроводность полупроводника?

1.4.6. Проводники

Понятие о проводниках природа электропроводности проводников. Основные характеристики. Классификация проводниковых материалов. Понятие о сверхпроводимости проводников.

Вопросы для самопроверки

1. Какой механизм электропроводности свойственен металлам?
2. Какой механизм электропроводности свойственен электролитам?
3. В чём разница в объяснении механизма электропроводности с позиций классической электронной теории строения металлов и кантовой механики?

4. Какими параметрами характеризуются свойства проводников?
5. Чем объяснить зависимость удельной электропроводности металлов от температуры?
6. Почему удельное сопротивление металла зависит от его деформации?
7. Какие материалы относятся к материалам высокой проводимости?
8. Дайте сравнительную характеристику меди и алюминия.
9. Какие сплавы высокого сопротивления применяются в технике?
10. Что такое явление сверхпроводимости?
11. Каким материалам и при каких условиях свойственно явление сверхпроводимости?

1.4.7. Примерный перечень лабораторных работ

1. Определение электрической прочности газообразных и твёрдых диэлектриков.
2. Определение динамических характеристик ферромагнетиков при постоянной частоте магнитного поля.
3. Определение динамических характеристик ферромагнетиков при изменяющейся частоте магнитного поля.

Часть 2
ДИЭЛЕКТРИКИ

2.1. Основные сведения о пробое диэлектриков

Важнейшей областью использования диэлектриков в технических целях является применение их в качестве изоляционных материалов, предназначающихся для предотвращения протекания электрического тока по путям, не предусмотренным электрической схемой установки. Такое использование диэлектриков связано с их исключительно малой электропроводностью.

Так, удельная объемная электропроводность этих материалов при комнатной температуре не превышает 10^{-8} см/м, а удельное объемное сопротивление соответственно больше 10^{8} Ом·м.

Такое значение электропроводности и удельного объемного сопротивления сохраняется только для определенного напряжения. Превышение этого напряжения приводит к резкому (скачкообразному) возрастанию электропроводности и уменьшению сопротивления диэлектрика.

Потеря диэлектриком изоляционных свойств под воздействием внешнего электрического поля называется ***пробоем***.

Напряжение, при котором в диэлектрике возникает электрический пробой, называется ***пробивным*** или ***напряжением пробоя***.

Пробивное напряжение обозначается $U_{\text{пр}}$. Единицей измерения пробивного напряжения в системе СИ является вольт (В). Допускается использовать в качестве единицы измерения пробивного напряжения киловольт (кВ).

Значение пробивного напряжения зависит от химического состава, структуры строения, толщины диэлектрика и воздействия ряда других факторов.

Другой важнейшей характеристикой способности диэлектриков выдерживать воздействие высоких напряжений без потери изоляционных свойств является электрическая прочность ($E_{\text{пр}}$). Под электрической прочностью понимается отношение пробивного напряжения диэлектрика к его толщине:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h},$$

где h – толщина диэлектрика.

Единицей измерения электрической прочности в системе СИ является В/м. В связи с тем, что использование этой единицы на практике неудобно из-за малой толщины изоляции в различных электромеханических установках и больших значений пробивных напряжений, ГОСТом допускается применение

внесистемной единицы измерения, равной кВ/мм. Соотношение между этими единицами – кВ/мм = 10^6 В/м.

Если на диэлектрик воздействует внешнее однородное электрическое поле, то электрическая прочность представляет собой напряженность этого поля, при которой происходит пробой.

В зависимости от механизма развития и причин возникновения различают следующие виды пробоев: электрический, тепловой и электрохимический.

Электрический пробой связан с развитием процессов ударной и фотонной ионизации, возникающих в сильных электрических полях и приводящих к быстрому росту концентрации свободных носителей электрических зарядов к скачкообразному увеличению электрического тока в месте пробоя при превышении значения напряженности электрического поля, равного электрической прочности диэлектрика.

Тепловой пробой возникает под воздействием тепловой энергии, выделяющейся в диэлектриках за счет диэлектрических потерь или поступающей от посторонних источников тепловой энергии. Тепловая энергия вызывает уменьшение активного сопротивления диэлектриков и возрастание активного потока, приводящих к дальнейшему увеличению температуры диэлектриков с последующим их термическим разрушением.

Электрохимический пробой возникает при длительной эксплуатации диэлектриков в электрических полях и связан с изменением химического состава в результате протекающих в диэлектриках электрохимических процессов.

Более подробно каждый из видов пробоя диэлектриков рассмотрен в последующих параграфах.

2.2. Пробой газообразных диэлектриков

В газообразных диэлектриках пробой является электрическим и связан с развитием процессов ударной и фотонной ионизации под воздействием сильных электрических полей.

В любом газообразном диэлектрике содержится малое количество положительных и отрицательных ионов и электронов, находящихся в хаотическом тепловом движении. Под воздействием электрического поля эти частицы начинают перемещаться либо в направлении напряженности поля (положительные ионы), либо в направлении, противоположном ей (электроны, отрицательные ионы).

При этом каждая из частиц получает добавочную энергию за счет электрического поля

$$W_{ч} = g \cdot U_{\lambda}, \qquad (2.1)$$

где g – электрический заряд напряженной частицы; U_λ – разность потенциалов на длине свободного пробега заряженной частицы.

В однородном электрическом поле

$$U_\lambda = E \cdot \lambda, \tag{2.2}$$

где E – напряженность однородного электрического поля; λ – длина свободного пробега частицы.

Таким образом, в однородном электрическом поле добавочная энергия, приобретенная частицей в результате воздействия электрического поля:

$$W_ч = g \cdot E \cdot \lambda. \tag{2.3}$$

В конце пути свободного пробега заряженная частица сталкивается с нейтральной молекулой. Если при этом энергия заряженной частицы оказывается больше энергии ионизации нейтральной молекулы газообразного диэлектрика, то последняя расщепляется на электрон и положительно заряженный ион. Этот процесс получил название процесса ударной ионизации.

Таким образом, условие возникновения ударной ионизации описывается уравнением

$$W_ч \geq W_и. \tag{2.4}$$

С учетом уравнений (2.2) и (2.3) получим:

$$E_н \cdot g \cdot \lambda \geq W_и,$$

а

$$U_\lambda = E_н \cdot \lambda \geq W_и, \tag{2.5}$$

где U_λ – ионизационный потенциал газообразного диэлектрика; $E_н$ – начальная напряженность поля.

Ионизационный потенциал характеризует энергию ионизации диэлектрика. У различных газообразных диэлектриков он лежит в диапазоне от 4 до 25 В, что соответствует энергии ионизации от 4 до 25 эВ.

Так как λ и g для каждого из газообразных диэлектриков постоянны, то ударная ионизация начинается при определенной напряженности поля, называемой начальной напряженностью.

В ряде случаев столкновение заряженной частицы с нейтральной молекулой может не ионизировать последнюю, а принести ее в возбужденное состояние. Через определенный промежуток времени возбужденная молекула испускает фотон, отдавая при этом избыточную энергию. Фотон поглощается другой нейтральной молекулой, которая в этом случае ионизируется, расщепляясь на электрон и положительно заряженный ион. Такая ионизация называется фотонной. Фотонная ионизация приводит к быстрому развитию канала пробоя в газообразном промежутке.

Развитие процессов ударной и фотонной ионизации при напряженности электрического поля большей, чем начальная, приводит к резкому возрастанию количества свободных носителей электрических зарядов и возникновению двух встречных источников разноименно заряженных частиц в канале пробоя.

В результате пробоя пространство, занимаемое каналом пробоя, заполнено движущимися заряженными частицами газа. Такое состояние газообразного диэлектрика получило название газоразрядной плазмы.

За счет фотонной ионизации пробой газов осуществляется практически мгновенно.

Электрическая прочность газообразного диэлектрика зависит от длительности воздействия электрического поля. При кратковременном воздействии напряжение пробоя диэлектрика, выше чем при длительном воздействии. Повышение пробивного напряжения характеризуется коэффициентом импульса

$$\beta = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{пр50}}}, \qquad (2.6)$$

где $U_{\text{пр}}$ – пробивное напряжение при данной длительности импульса; $U_{\text{пр50}}$ – пробивное напряжение при постоянном или переменном напряжении частотой 50 Гц.

Значения коэффициента импульса находятся в диапазоне от 1 до 1,5.

Электрическая прочность газообразных диэлектриков зависит от расстояния между электродами или толщины диэлектрика. Зависимость $E_{\text{пр}}=f(h)$ представлена на рисунке 2.1.

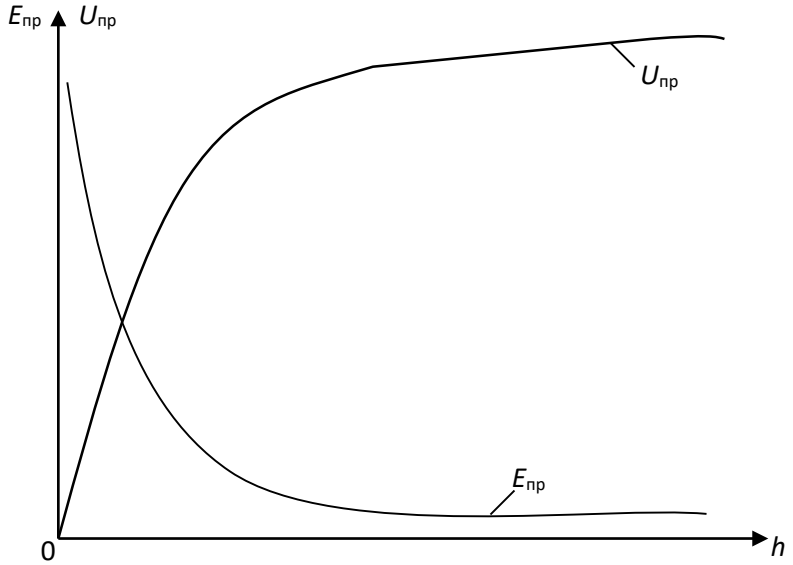


Рис. 2.1. Зависимость электрической прочности и пробивного напряжения газообразного диэлектрика от расстояния между электродами

Из рис. 2.1 видно, что с ростом толщины диэлектрика его электрическая прочность уменьшается, а пробивное напряжение увеличивается. Это объясняется тем, что при малых расстояниях между электродами затрудняется возникновение процесса ударной ионизации. Это видно из анализа уравнения (2.5).

Решив уравнение (2.5) относительно $E_н$, получим

$$E_н = \frac{W_и}{g \cdot \lambda}.$$

При малых расстояниях между электродами, когда $h \geq \lambda$, можно записать

$$E_н = \frac{W_и}{g \cdot h}. \qquad (2.7)$$

Из уравнения (2.7) видим, что чем меньше толщина газообразного диэлектрика, тем больше начальная напряженность электрического поля, при которой энергия движущийся заряженной частицы обеспечивает ионизацию молекулы газообразного диэлектрика и возникновение процессов ударной и фотонной ионизации.

Электрическая прочность газообразного диэлектрика зависит также и от давления газа. Эта зависимость представлена на рисунке 2.2.

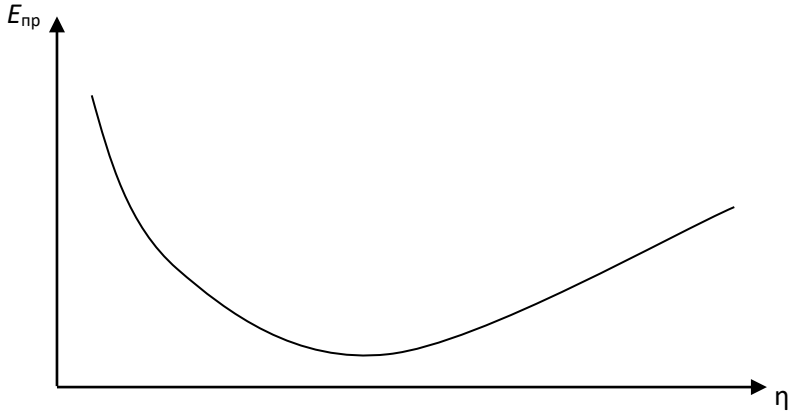


Рис. 2.2. Зависимость электрической прочности газа от давления

Как видно из рис. 2.2, при малых значениях давления наблюдается уменьшение электрической прочности с ростом давления. Такое явление объясняется тем, что при малых давлениях вероятность столкновения заряженной частицы с нейтральной молекулой незначительная, и затрудняется развитие процессов ударной и фотонной ионизации. С ростом давления плотность молекул газа увеличивается, что приводит к возрастанию вероятности столкновений заряженных частиц с молекулами газа и облегчает развитие процессов ударной ионизации. При сверхвысоких давлениях существенно уменьшается длина свободного пробега заряженной частицы, что, согласно уравнению (2.7), приводит к росту начальной напряженности поля.

Электрическая прочность газообразного диэлектрика существенно зависит от однородности электрического поля (рис. 2.3).

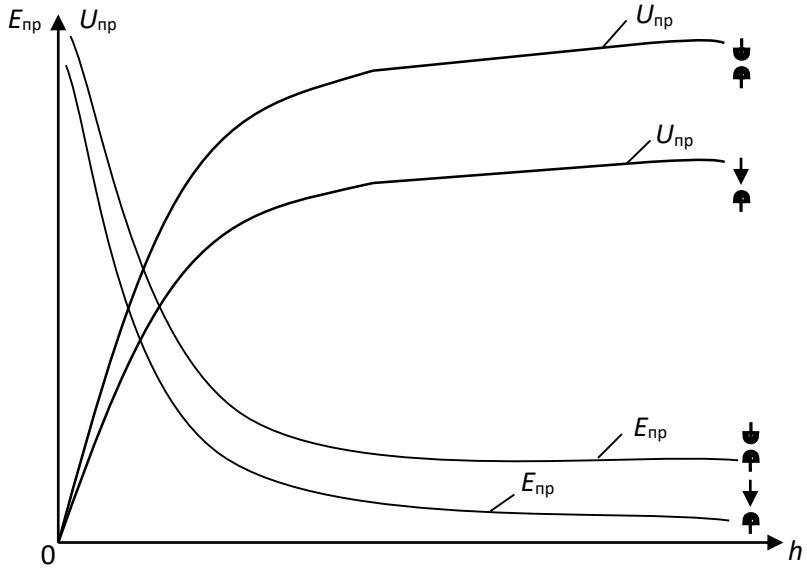


Рис. 2.3. Зависимости электрической прочности и пробивного напряжения газообразного диэлектрика от расстояния между электродами в однородном и неоднородном электрических полях

В однородных электрических полях, возникающих между плоскими электродами с закругленными краями, либо между сферическими электродами большого диаметра, электрическая прочность значительно выше, чем в неоднородных электрических полях между электродами типа «игла – игла», «полусфера – игла», « плоскость – игла» и т. п. Неоднородное электрическое поле возникает также между двумя полусферами, когда расстояние между ними больше радиуса сферы.

Меньшее значение электрической прочности газообразных диэлектриков в неоднородных электрических полях по сравнению с электрической прочностью в однородных полях объясняется тем, что при одной и той же разности потенциалов между электродами напряженность поля в точках, расположенных по кратчайшему расстоянию между двумя электродами, в неоднородных полях значительно выше, чем напряженность однородного электрического поля. Следовательно и электрический пробой газообразного диэлектрика в неоднородном электрическом поле произойдет при меньшем напряжении, приложенном к электродам, чем в однородном поле.

По разному развивается электрический пробой в однородных и неоднородных электрических полях.

В однородном электрическом поле при определенном значении напряжения, зависящем от температуры, давления газа и расстояния между

электродами возникает искровой разряд, переходящий в дуговой при дальнейшем росте напряжения.

В неоднородных электрических полях вначале возникает частичный разряд в местах, где напряженность достигает максимальных значений (коронный разряд). При дальнейшем возрастании напряжения коронный разряд переходит в искровой, а затем и в дуговой разряды.

Электрическая прочность газообразного диэлектрика зависит от полярности электродов типа «игла – плоскость», «игла – сфера».

При положительной полярности иглы пробой происходит при меньшем напряжении, чем при обратной полярности. Это явление объясняется тем, что ионизация газа начинается в районе кончика иглы, независимо от ее полярности, так как именно в этой области напряженность поля максимальная. При положительной полярности иглы у ее кончика возникает положительный объемный заряд из положительно заряженных ионов газа, который как бы является продолжением иглы, способствуя уменьшению длины газообразного промежутка и соответствующему уменьшению пробивного напряжения.

При отрицательной полярности иглы образовавшийся объемный положительный заряд как бы экранизирует иглу, препятствуя перемещению электронов от иглы к поверхности положительно заряженной плоскости или сферы. Наличие экрана из положительно заряженных ионов около кончика иглы и приводит к возрастанию пробивного напряжения при отрицательной полярности иглы, по сравнению с пробивным напряжением при обратной полярности иглы.

2.3. Пробой твердых диэлектриков

В твердых диэлектриках могут возникать четыре вида пробоев:

- электрический пробой макроскопически однородных твердых диэлектриков;
- электрический пробой макроскопически неоднородных твердых диэлектриков;
- электротепловой (тепловой) пробой;
- электрохимический пробой.

Электрический пробой макроскопически однородных твердых диэлектриков развивается аналогично электрическому пробою в газообразных диэлектриках в результате осуществления процесса ударной ионизации, когда исключено влияние электропроводности и диэлектрических потерь, обуславливающих разогрев диэлектрика.

В связи с этим, зависимости электрической прочности и пробивного напряжения твердых диэлектриков от толщины и конфигураций электродов

анологичны таким же зависимостям для газообразных диэлектриков (рис. 2.1, рис. 2.3).

Электрический пробой неоднородных диэлектриков характерен для технических диэлектриков, в структуре которых имеются поры и капилляры, заполненные газообразным диэлектриком. Чаще всего таким газообразным диэлектриком является воздух. Так как электрическая прочность воздуха значительно меньше электрической прочности твердых диэлектриков, то наличие капилляров и пор в структуре твердых диэлектриков обуславливает значительную меньшую электрическую прочность неоднородных диэлектриков сравнению с однородными.

С ростом толщины неоднородного твердого диэлектрика наблюдается уменьшение его электрической прочности, так как возрастает количество газовых включений.

Электрическая прочность неоднородных твердых диэлектриков зависит от однородности и неоднородности электрического поля. Но, в отличие от газообразных и однородных твердых диэлектриков, электрическая прочность неоднородных твердых диэлектриков может быть в неоднородном поле больше, чем в однородном. Это связано с тем, что при большей площади электродов, между которыми создается однородное поле, возрастает количество слабых мест (пор, капилляров, трещин и т. д.), приводящих к снижению электрической прочности твердого диэлектрика.

Электротепловой (тепловой) пробой связан с разогревом материала в электрическом поле за счет возрастания сквозной электропроводности и диэлектрических потерь, приводящих к потере изоляционных свойств материала. Пробивное напряжение при электротепловом пробое зависит от частоты поля, условий охлаждения, температуры окружающей среды и т. п.

Установившийся температурный режим возникает тогда, когда выделение тепла в изоляционном материале равняется теплоотдаче в окружающую среду. Этот режим описывается следующим уравнением

$$U^2 \cdot \omega \cdot c \cdot \mathrm{tg}\delta = \sigma \cdot S\left(t_{\text{раб}} - t_{\text{о}}\right), \qquad (2.8)$$

где U – напряжение на электродах; ω – угловая частота; c – емкость изоляционного материала; $\mathrm{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь изоляционного материала σ – коэффициент теплоотдачи; S – поверхность изоляционного материала; $t_{\text{раб}}$ – температура изоляционного материала; $t_{\text{о}}$ – температура окружающей среды.

На рисунке 2.4 построены зависимости мощности диэлектрических потерь P_a и мощности теплоотдачи P_t от температуры.

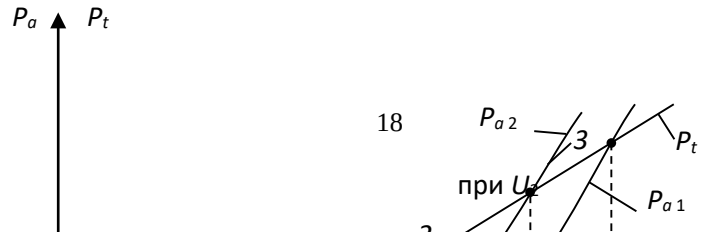


Рис. 2.4. Зависимость мощности диэлектрических потерь и мощности теплоотдачи изоляционного материала от температуры

Как видно из рис. 2.4, зависимость $P_{a1}=f(t)$ имеет две точки пересечения с прямой $P_t = f(t)$ и следовательно, два установившихся режима при $t_{1раб}$ и $t_{1кр}$. Учитывая, что в условиях эксплуатации не исключается дополнительный разогрев изоляционного материала за счет посторонних источников тепловой энергии, рабочая температура может случайно возрасти. Если с учетом возможного возрастания $t_{1раб}<t_{1кр}$, то тепловой пробой не произойдет, так как количество тепла, выделяемое внутри диэлектрика, возрастает медленнее, чем увеличивается теплоотдача. Если за счет дополнительного нагрева установится соотношение $t_{1раб}>t_{1кр}$, то количество тепловой энергии, выделяемой в изоляционном материале, превысит теплоотдачу, и температура будет расти до полного разрушения диэлектрика. С ростом напряжения зависимость $P_a=f(t)$ смещается вверх (см. кривую *3*, полученную при $U_2>U_1$). При тех же самых условиях охлаждения повышение напряжения приводит к росту рабочей температуры ($t_{2раб}>t_{1раб}$) и уменьшению критической температуры ($t_{1кр}>t_{2кр}$).

Таким образом, как видно из рис. 2.4, увеличение напряжения приводит к возрастанию рабочей температуры за счет роста количества тепла, выделяемого в материале.

Выделение тепловой энергии вследствие диэлектрических потерь приводит к увеличению электрической прочности диэлектрика. На рисунке 2.5 приведены зависимости электрической прочности и пробивного напряжения твердого диэлектрика от толщины при электрическом и электротепловом пробоях.

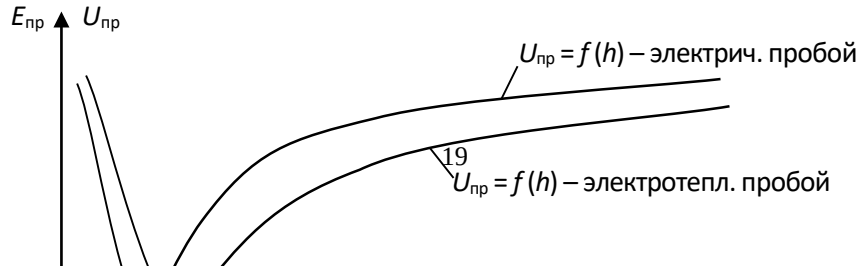


Рис. 2.5. Зависимости электрической прочности и пробивного напряжения от толщины диэлектрика

Как видно из рис. 2.5, электрическая прочность изоляционного материала при электротепловом пробое меньше, чем при чисто электрическом пробое.

Уменьшение электрической прочности при электротепловом пробое связано с одной стороны с разрушением структуры строения изоляционного материала (растрескивание, обугливание и т. д.), когда рабочая температура превышает критическую. С другой стороны, электрическая прочность при электротепловом пробое меньше, чем при электрическом даже в том случае, когда рабочая температура не превышает критическую. Такое явление можно объяснить следующим образом: с ростом температуры изоляционного материала увеличивается кинетическая энергия теплового хаотического движения заряженных частиц и нейтральных молекул твердого диэлектрика. Возрастание энергии теплового хаотического движения молекул приводит к тому, что полю необходимо сообщить меньшую дополнительную энергию движущихся заряженных частиц, чтобы последняя могла ионизировать нейтральную молекулу при столкновении с ней. И, следовательно, выполнение условия развития ударной ионизации наступает при меньшем напряжении, подаваемом на электроды.

2.4. Лабораторная работа № 1. Определение электрической прочности твердых и газообразных диэлектриков. Цель работы

Целью лабораторной работы является научить студентов определять электрическую прочность твердых и газообразных диэлектриков и выявлять зависимости электрической прочности от толщины диэлектрика и конфигурации электродов, формирование навыков использования теоретических сведений к объяснению результатов эксперимента.

2.5. Объект исследования

1. Образцы твердых диэлектриков. Материал, размеры образцов и их толщины задаются преподавателем.
2. Воздух. Длины воздушных зазоров задаются преподавателем.

2.6. Средства измерения

1. Испытательная высоковольтная установка с максимальным напряжением до 10 кВ. Принципиальная электрическая схема установки приведена на рис. 2.6.
2. Вольтметр переменного тока с пределом измерения до 150 В.
3. Микрометр типа МК с пределом измерения 0 – 25 мм. Цена деления микрометра – 0,1 мм.
4. Штангенциркуль. Цена деления – 0,1 мм.

2.7. Рабочее задание

1. Испытать на электрический пробой образцы твердого диэлектрика различной толщины, определяя пробивное напряжение каждого из них. Число образцов и измерений определяет преподаватель.
2. Рассчитать электрическую прочность каждого образца.
3. Произвести электротепловой пробой аналогичных по химическому составу и толщине образцов твердого диэлектрика, определяя пробивное напряжение каждого образца. Количество образцов и измерений такое же, как и при испытании на электрический пробой.
4. Рассчитать электрическую прочность каждого образца при электротепловом пробое.
5. Построить для одних и тех же образцов:
   - зависимости $U_{пр}=f(h)$ при электрическом и электротепловом пробоях в одних осях координат;
   - зависимости $E_{пр}=f(h)$ при электрическом и электротепловом пробоях в одних осях координат.
6. Осуществить электрический пробой воздуха при различных толщинах воздушного зазора h, определяя каждый раз значение пробивного напряжения. Электрический пробой произвести для двух сочетаний электродов с различной конфигурацией, заданных преподавателем.

7. Рассчитать электрическую прочность воздуха для каждого пробоя.
8. Построить:
   - зависимости $U_{пр}=f(h)$ для каждого из сочетаний электродов в одних осях координат;
   - зависимости $E_{пр}=f(h)$ для каждого из сочетаний электродов в одних осях координат.
9. Сделать выводы по работе.

2.8. Методические указания по выполнению рабочего задания

2.8.1. Устройство и принцип действия лабораторной установки

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки для определения пробивного напряжения и электрической прочности твердых и газообразных диэлектриков приведена на рис. 2.6.

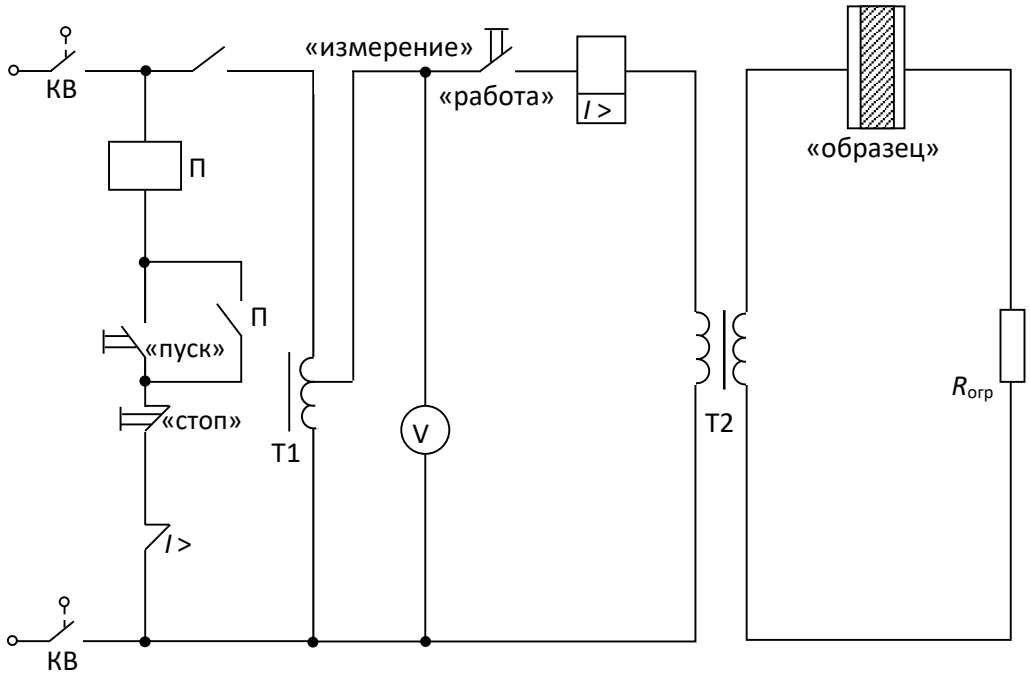


Рис. 2.6. Принципиальная электрическая схема установки

В состав установки входят:

– линейный автотрансформатор Т1, предназначенный для регулирования напряжения, подаваемого на испытательный образец;
– высоковольтный трансформатор Т2 с максимальным напряжением вторичной обмотки U_{2max}=10 кВ и коэффициентом K=10;
– сопротивление $R_{огр}$, предназначенное для ограничения тока в обмотке высокого напряжения при возникновении пробоя образца;
– электромагнитный пускатель: кнопки «пуск» и «стоп»;

– сигнальная лампа «напряжение подано»;

– переключатель режима работы установки «работа – измерение»;

– многопредельный вольтметр.

В нижней части лабораторной установки находится высоковольтный трансформатор и токоограничивающее сопротивление. Эта часть установки закрыта металлическим заземленным экраном, исключающим возможность попадания работающего на установке под высокое напряжение.

На верхней, горизонтально расположенной части установки находятся линейный автотрансформатор, вольтметр, переключатель режима работы и высоковольтная камера со сменными электродами.

Принцип действия лабораторной установки заключается в следующем. При закрытой дверце высоковольтной камеры контакты концевых выключателей КВ замкнуты и электрическая цепь установки подготовлена к работе.

При нажатии кнопки «пуск», расположенной в левом верхнем углу стенда, срабатывает электромагнитный пускатель П и через его замкнутые контакты напряжение подается на автотрансформатор Т1. Одновременно в камере высокого напряжения загорается сигнальная лампа «напряжение подано». Вторая пара контактов пускателя блокирует кнопку «пуск». Напряжение с выхода автотрансформатора поступает на обмотку низкого напряжения высоковольтного трансформатора, если переключатель режима работы установлен в положении «работа». Это напряжение измеряется многопредельным вольтметром переменного тока. На обмотке высокого напряжения трансформатора создается напряжение, значение которого может быть вычислено по формуле

$$U_2 = K \cdot U_1 . \qquad (2.9)$$

Когда напряжение U_2 достигает значения, равного напряжению пробоя $U_{\text{пр}}$, происходит пробой образца, и в цепи вторичной обмотки возрастает ток, амплитуда которого ограничивается сопротивлением $R_{\text{огр}}$. Возрастание тока вторичной обмотки вызывает соответствующее увеличение тока первичной обмотки трансформатора, в результате которого срабатывает реле максимального тока $I >$. Контакты этого реле размыкаются, разрывая цепь питания обмотки электромагнитного пускателя. Контакты пускателя размыкаются и отключают стенд от сети.

Обычно пробой образца происходит внезапно, что затрудняет отсчет по вольтметру напряжения, при котором произошел пробой. Поэтому для облегчения отсчета напряжения пробоя предусмотрена возможность работы установки в режиме «измерение». Для перевода установки в этот режим переключатель режима работы устанавливается в положение «измерение». В

этом режиме высоковольтный трансформатор отключается от выхода автотрансформатора. Если положение рукояти автотрансформатора, регулирующей его выходное напряжение, сохранить таким же, как и в момент пробоя, то после нажатия на кнопку «пуск» вольтметр покажет то же напряжение, что было установлено при пробое.

2.8.2. Методика экспериментального определения пробивного напряжения и электрической прочности твердых диэлектриков при электрическом пробое

1. Перед началом эксперимента необходимо проверить правильность подключения элементов установки (рис. 2.7), предварительно установив рукоятку автотрансформатора в нулевое положение и открыв дверку камеры высокого напряжения. Лампа «напряжение подано» не должна гореть.

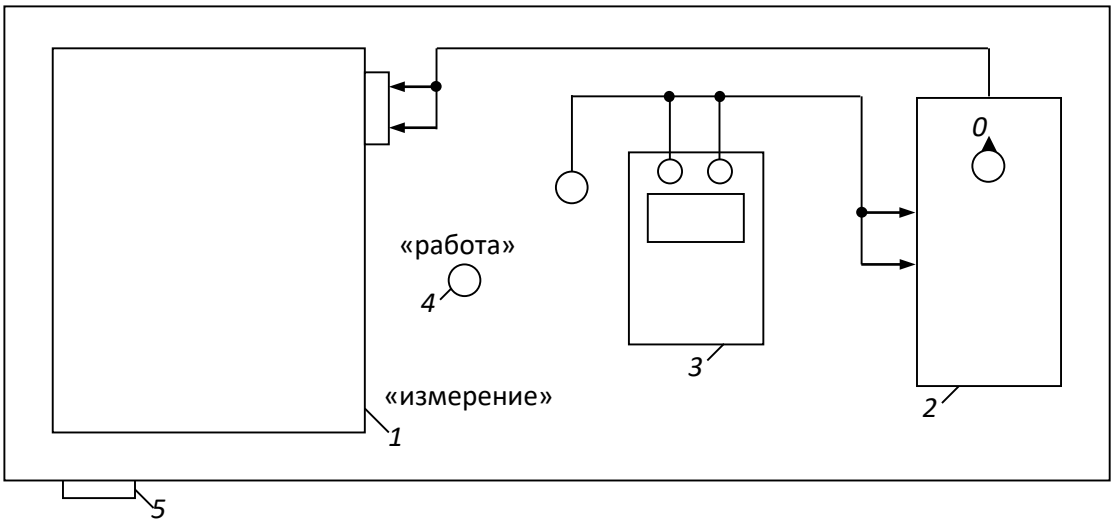


Рис. 7. Схема соединения элементов лабораторной установки:
1 – высоковольтная камера; 2 – линейный автотрансформатор; 3 – вольтметр; 4 – переключатель режима работы установки; 5 – кнопки «пуск» и «стоп»

2. Установить по указанию преподавателя сменные электроды.

3. Измерить микрометром толщину испытываемого образца диэлектрика. Рекомендуется начинать эксперимент с образца наибольшей величины. Данные измерений записать в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Экспериментальное определение напряжение пробоя и электрической прочности твердых диэлектриков при электрическом пробое

№ п/п	h, мм	U_1, В	$U_{пр}$, кВ	$E_{пр}$, кВ/мм	Конфигурация электродов

Примечание: высота столбцов таблицы должна быть рассчитана для записи результатов пробоя 7 – 8 образцов.

4. Разместить образец между электродами в высоковольтной камере. Для этого необходимо отвернуть стопорный винт верхнего электрода до тех пор, пока последний не начнет свободно перемещаться. Поднять верхний электрод и поместить образец в образовавшийся зазор. Опустить верхний электрод на образец и повернуть стопорный винт в обратном направлении до упора.

5. Закрыть крышку камеры высокого напряжения.

6. Установить переключатель режима работы в положение «работа».

7. Нажать кнопку «пуск». При этом загорается лампа «напряжение подано».

8. Плавно вращая рукоятку автотрансформатора, увеличивать напряжение, подаваемое на образец, до тех пор, пока не произойдет автоматическое отключение напряжения, свидетельствующее о пробое образца. Сигнальная лампа «напряжение подано» должна погаснуть.

9. Переключатель режима работы установить в положение «измерение».

10. Нажать на кнопку «пуск». Сигнальная лампа «напряжение подано» должна загореться.

11. По вольтметру отсчитать напряжение U_1, при котором произошел пробой диэлектрика и записать в табл. 2.1.

12. Нажать кнопку «стоп». Сигнальная лампа «напряжение подано» должна погаснуть.

13. Установить рукоятку линейного автотрансформатора в нулевое положение, открыть дверцу камеры высокого напряжения и убрать пробитый образец.

14. Рассчитать пробивное напряжение и электрическую прочность образца по формуле

$$U_{пр} = \frac{K \cdot U_1}{1000}; \qquad (2.10)$$

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h}, \qquad (2.11)$$

где U_1 – действующее значение выходного напряжения автотрансформатора, В; $U_{пр}$ – действующее значение напряжения пробоя образца, кВ; K=100 – коэффициент трансформации высоковольтного трансформатора; $E_{пр}$ – электрическая прочность образца, кВ/мм.

Рассчитанные значения $U_{пр}$ и $E_{пр}$ записать в таблицу 2.1.

2.8.3. Методика экспериментального определения электрической прочности твердых диэлектриков при электротепловом пробое

1. Электротепловой пробой производится на образцах диэлектриков, аналогичных по химическому составу и геометрическим размерам образцам, использованным при электрическом пробое. Количество испытываемых образцов и их толщины задаются преподавателем.

2. Перед началом испытаний необходимо рассчитать значения начального напряжения $U_{нач}$ и интервал, через который будет изменяться напряжение установки ΔU по следующим формулам:

$$U_{нач} = 0{,}6 \cdot U_{пр} \cdot 1000; \quad (2.12)$$

$$\Delta U = 1000 \cdot U_{пр} \cdot \frac{(1-0{,}6)}{6 \div 7} = \frac{0{,}4}{6 \div 7} \cdot U_{пр} \cdot 1000, \quad (2.13)$$

где $U_{пр}$ – пробивное напряжение образца, полученное при электрическом пробое, кВ; ΔU – интервал, через который изменяется напряжение, приложенное к образцу при электротепловом пробое, В.

3. Выполнить пункты 3 – 7 из 2.8.2. данных методических указаний.

4. Плавно вращая рукоятку автотрансформатора, установить напряжение, подаваемое на образец, равным ___.

5. Выдержать образец под действием напряжения $U_{нач}$ и в течение интервала времени, указанного преподавателем.

6. Вращая рукоятку автотрансформатора увеличить напряжение на образец на ΔU.

7. Выдержать образец под действием напряжения в течение указанного преподавателем интервала времени.

8. Повторить операции, перечисленные в пунктах 6 и 7, до тех пор пока не произойдет пробой образца.

9. Измерить пробивное напряжение в соответствии с пунктами 9 – 13 из методики 2.8.2.

10. Рассчитать пробивное напряжение и электрическую прочность образца при электротепловом пробое по формулам (2.10) и (2.11). Данные измерений и расчётов записываются в таблицу 2.2. Пример заполнения таблицы приведен ниже.

Таблица 2.2

Экспериментальное определение напряжение пробоя и электрической прочности твердых диэлектриков при электротепловом пробое

№ п/п	h, мм	$U_{нач}$, В	ΔU, В	U_1, В	$U_{пр}$, кВ	$E_{пр}$, кВ/мм	Конфигурация электродов

11. Построить зависимости $U_{пр}=f(h)$ при электротепловом и электрическом пробоях в одних осях координат.

12. Построить зависимости $E_{пр}=f(h)$ при электротепловом и электрическом пробоях твердого диэлектрика в одних осях координат.

2.8.4. Методика экспериментального определения электрической прочности воздуха

1. Установить электроды заданной преподавателем конфигурации в высоковольтной камере стенда.

2. Установить необходимую толщину воздушного зазора между электродами. Для этого отвернуть стопорный винт верхнего электрода и разместить калиброванные пластины между электродами. Опустить верхний электрод на поверхность пластин и зафиксировать его положение с помощью стопорного винта. Убрать калиброванные пластины из камеры.

3. Осуществить электрический пробой воздуха в соответствии с пунктами 5 – 14 из 2.8.2. данных методических указаний. Электрический пробой воздуха произвести для двух сочетаний электродов различной формы в соответствии с указаниями преподавателя.

4. Построить зависимости $U_{пр}=f(h)$ для обоих сочетаний электродов в одних осях координат.

5. Построить зависимости $E_{пр}=f(h)$ для обоих сочетаний электродов в одних осях координат.

2.9. Контрольные вопросы

1. С помощью каких показателей характеризуется способность диэлектрика противостоять электрическому пробою?
2. Какая из величин (пробивное напряжение или электрическая прочность) более точно оценивает способность различных диэлектриков противостоять электрическому пробою?
3. Чем объяснить, что электрическая прочность пористых твердых диэлектриков ниже прочности однородных по структуре строения твердых диэлектриков?
4. Какими процессами обуславливается развитие электрического пробоя в газообразных диэлектриках?
5. В чем разница между электротепловым и чисто электрическим пробоем диэлектриков?
6. Какое явление называется пробоем диэлектриков?
7. В каком из электрических полей (однородном или неоднородном) электрическая прочность диэлектриков выше? Чем это можно объяснить?
8. По каким причинам электрическая прочность диэлектриков при тепловом пробое меньше, чем при электрическом?
9. Зависит ли электрическая прочность воздуха от полярности электродов при следующих сочетаниях электродов: игла – плоскость, игла – полусфера? Ответ аргументируйте.
10. Чем объяснить, что электрическая прочность воздуха при сочетании электродов игла плоскость или игла полусфера уменьшается в большем диапазоне, чем его прочность при сочетании электродов плоскость –

плоскость, полусфера – полусфера, с ростом толщины воздушного зазора?

11. Чем объяснить, что электрическая прочность диэлектриков уменьшается с ростом толщины?
12. При каких условиях в твердых диэлектриках может произойти электротепловой пробой?
13. Почему необходимо учитывать процесс старения электрической изоляции при определении рабочего напряжения различных электрических машин?
14. Как изменяется электрическая прочность газообразных диэлектриков с ростом давления и почему?
15. Влияет ли температура на электрическую прочность диэлектриков? Ответ аргументируйте.

Часть 3
МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Основные характеристики магнитных веществ

Магнитное состояние вещества оценивается намагниченностью. Намагниченностью называется сумма элементарных магнитных моментов в единице объема вещества

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{V}, \qquad (3.1)$$

где m_i – элементарный магнитный момент (спин электрона); V – объем образца.

Значение намагниченности зависит от напряженности магнитного поля H и связано с последней в соответствии с уравнением:

$$M = \chi \cdot H$$

где χ – магнитная восприимчивость вещества.

В системе СИ магнитная восприимчивость является безразмерной величиной.

Под воздействием напряженности магнитного поля в веществе создается магнитная индукция, зависимость которой от напряженности поля и намагниченности материала описывается уравнением

$$B = \mu_0 (H + \chi \cdot H), \qquad (3.2)$$

где μ_0=1,256·10^{-6} – магнитная постоянная вакуума, Гн/м.

В системе СИ индукция измеряется в теслах (Тл), а в ситстеме СГС – в гауссах (ГС).

Связь между индукцией и напряженностью магнитного поля может быть также описана следующим уравнением:

$$B = \mu_a \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H, \qquad (3.3)$$

где μ_a – абсолютная магнитная проницаемость; μ_r – относительная магнитная проницаемость.

Абсолютная магнитная проницаемость имеет ту же размеренность, что и магнитная постоянная вакуума, а относительная магнитная проницаемость является безразмерной величиной.

Абсолютная и относительная магнитная проницаемости связаны между собой соотношением

$$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu_r. \qquad (3.4)$$

Если учесть, что

$$\mu_a = \frac{B}{H},$$

а (3.5)

$$\mu_r = \frac{B}{H \cdot \mu_0},$$

становится ясным физический смысл относительной магнитной проницаемости. Она показывает, во сколько раз магнитная индукция в веществе больше, чем индукция в вакууме под воздействием намагничивающих полей одинаковой напряженности.

3.2. Физическая природа магнетизма

Известно, что элементарный замкнутый круговой электрический ток *i* создает магнитное поле, основной характеристикой которого является магнитный элемент

$$\underline{m} = i \cdot \underline{S},$$

где $\underline{S}$ – векторная величина площади, охватываемой током.

На уровне атома можно условно выделить три основные формы движения электрических зарядов, создающих элементарные магнитные моменты:

- движение электронов по круговой орбите вокруг ядра;
- вращение электронов вокруг собственной оси;
- вращение протонов ядра атома.

Наибольший магнитный момент создается за счет вращения электрона вокруг собственной оси. Этот магнитный момент получил название – спин электрона. Спины электронов могут принимать только вполне определенные дискретные значения, кратные постоянной Планка. Минимальное значение спина электрона превышает магнитный момент, создаваемый протоном, примерно в 650 раз.

Но не все электроны, создающие электронные оболочки атома, участвуют в создании магнитного момента атома. Рассмотрим, как создается результирующий магнитный момент атома вещества. Электроны в атомах вещества занимают различные энергетические уровни, которые принято изображать в виде ряда электронных оболочек. Количество оболочек в атоме химического элемента определяется номером периода таблицы Менделеева, в котором расположен данный элемент. Каждая из электронных оболочек состоит из ряда подоболочек, число которых колеблется от 1 до 4. Номер электронной оболочки индексируется цифрами от 1 до 7, а номер подоболочки буквами *S, p, d, f*. Пример обозначения оболочек и подоболочек приведен на рис. 3.1.

В подоболочках с индексом *S* могут находиться максимально 2, в подоболочках *p* – 6, в подоболочках *d* – 10 и в подоболочках *f* – 14 электронов.

Заполнение электронами оболочек и подоболочек у подавляющего большинства элементов подчиняются следующему правилу.

Прежде всего заполняются наиболее близко расположенные к ядру атома оболочки и подоболочки. Заполнение последующих электронных подоболочек начинается после того, как полностью заполнена предыдущая.

В полностью заполненных подоболочках половина количества электронов, заполнивших электронную подоболочку, вращаются в одном направлении, создавая спиновые моменты, направление которых условно принимается за *положительное*.

Другая половина электронов данной подоболочки вращается в противоположном направлении, создавая спиновые моменты, направление которых принимается за *отрицательное*.

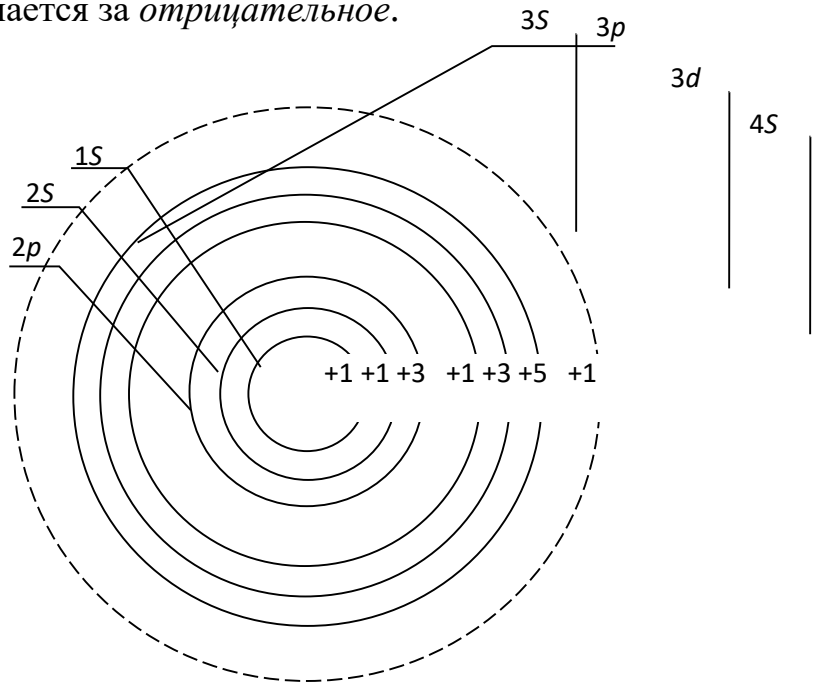


Рис. 3.1. Распределение электронов по оболочкам и подоболочкам в атоме железа

Так как количество положительных и отрицательных спинов в полностью заполненной электронной подоболочке одинаково, то они взаимокомпенсируются.

Следовательно, атомы элементов, электронные оболочки и подоболочки которых полностью заполнены электронами, не имеют собственных магнитных моментов, а сами вещества слабо намагничиваются в магнитном поле.

Но у ряда химических элементов такой порядок заполнения электронами оболочек и подоболочек нарушается.

Как видно из рис. 3.1, у атома железа не заполнена полностью подоболочка 3*d*, на которой находится всего 6 электронов вместо 10, а уже заполнена следующая, валентная для железа, подоболочка 4*S*.

Пять из шести электронов подоболочки 3*d* вращаются в одном направлении, создавая положительные спины электронов. Шестой электрон вращается в направлении обратном, создавая противоположно направленный спин – отрицательный.

Таким образом в подоболочке 3*d* атома железа существует 4 нескомпенсированных спинов электронов, которые, суммируясь, вызывают появление магнитного момента у атома.

Наличие нескомпенсированных спинов электронов в различных подоболочках наблюдается и у атомов ряда других элементов: кобальта, никеля, марганца и др.

Электроны, находящиеся в наружной валентной подоболочке, служить источником магнитных моментов не могут, т. к. при образовании молекул и кристаллов их магнитные моменты компенсируются спинами валентных электронов соседних атомов.

Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать первое условие возникновения ферромагнетизма у веществ.

Для того чтобы вещество хорошо намагничивалось и в нем создавалась большая магнитная индукция, необходимо, чтобы у атомов этого вещества существовали нескомпенсированные спины электронов в подоболочках, предшествующих валентной.

Однако выполнения только одного этого условия недостаточно для того, чтобы вещество являлось ферромагнетиком. Связано это с тем, что в любом объеме вещества, с которым приходится иметь дело на практике, содержится большое количество атомов. Электроны атомов образуют многоэлектронный коллектив.

Между атомами происходит постоянный обмен электронами. При обмене между электронами соседних атомов возникает сильное электростатическое взаимодействие. Данное взаимодействие получило название «обменного», а энергия этого взаимодействия называется «обменной энергией».

Такое электростатическое взаимодействие электронов соседних атомов способно ориентировать нескомпенсированные спины электронов определенным образом. Направление ориентации спинов электронов соседних атомов определяется значением обменной энергии.

График зависимости обменной энергии от отношения *K* приведен на рис. 3.2.

Известно, что обменная энергия зависит от отношения

$$k = \frac{a}{r},$$

где a – расстояние между центрами соседних атомов; r – радиус электронной подоболочки с некомпенсированными спинами электронов.

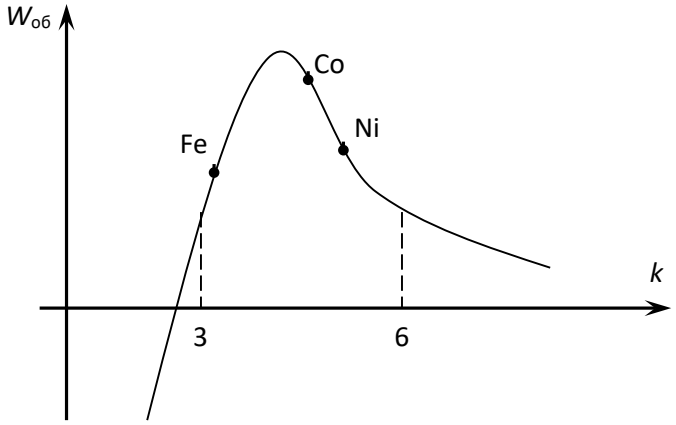


Рис. 2.2. Зависимость «обменной» энергии от геометрических размеров кристаллической решетки вещества

При $k > 3$ обменная энергия положительна, но настолько мала, что спины электронов соседних атомов ориентируются хаотично, вещества с такой ориентацией спинов намагничиваются слабо и относятся к классу парамагнетиков. С уменьшением k значение обменной энергии возрастает, что заставляет спиновые моменты соседних атомов ориентироваться параллельно друг другу. Это приводит к тому, что спиновые моменты атомов складываются и возникает самопроизвольное намагниченное состояние вещества. При $k = 3{,}5$ обменная энергия достигает максимума и при дальнейшем сближении атомов начинает убывать. Когда $k < 3$, обменная энергия становится отрицательной. При отрицательной обменной энергии энергетически выгодным становится взаимопротивоголожная ориентация спинов электронов соседних атомов, приводящая к их взаимной компенсации. Вещества с отрицательной обменной энергией называются антиферромагнетиками.

Таким образом, второе условие возникновения ферромагнетизма в веществе заключается в том, что оно должно обладать достаточно большей положительной обменной энергией, т. е. отношение k должно находиться в диапазоне $3 < k < 6$.

При выполнении обоих условий в веществе возникает внутреннее магнитное поле, характеризуемое намагниченностью M, определяемой в соответствии с уравнением (3.1).

3.3. Классификация веществ по магнитным свойствам

В 3.2. показано, что магнитные свойства веществ зависят от наличия или отсутствия нескомпенсированных спиновых моментов в электронных подоболочках атомов и от длины междуатомных расстояний между соседними атомами (отношение *k*).

По способности намагничиваться под воздействием магнитного поля все вещества подразделяются на следующие большие группы: диамагнетики, парамагнетики, магнетики.

Магнетики, в свою очередь, подразделяются на ферромагнетики, ферримагнетики и антиферромагнетики. Краткая характеристика каждой из групп материалов приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Классификация веществ по магнитным свойствам

Группа	Ориентация спиновых электронов соседних атомов	Краткая характеристика свойств
Диамагнетики	нескопенсированные спины электронов, отсутствуют	при отсутствии намагничивающего поля (H=0), намагниченность M=0. При $H\neq0$ появляются индуктированные магнитные моменты и $M\neq0$. Отсюда $\chi=-10^{-6}$, а $\mu_r<1$. Магнитная проницаемость μ_r не зависит от напряженности поля
Парамагнетики	ориентация спиновых моментов соседних атомов хаотичная	при H=0, у атомов существуют собственные магнитные моменты m, но намагниченность M=0, из-за хаотической оринетации спиновых моментов, $10^{-6}<\chi<10^{-3}$. Магнитная проницаемость $\mu_r>1$, но не значительно и не зависит от напряженности магнитного поля

Продолжение табл. 3.1

Группа	Ориентация спиновых электронов соседних атомов	Краткая характеристика свойств
Ферромагнетики	ориентация спиновых моментов паралельная	при H=0, у атомов существуют собственные магнитные моменты m, возникают области с самопроизвольной намагниченностью ($M\neq0$). Но в целом намагниченность всего атома вещества равна 0. $X=10^5\ldots10^7$. Магнитная проницаемость $\mu_r>>1$ и ее значение зависит от напряженности магнитного поля
Ферримагнетики (ферриты)	антипаралельная ориентация магнитных моментов разного значения	материалы, получаемые спеканием оксидов железа, никеля, цинка, марганца и других металлов, являются

		нескомпенсированными антиферомагнетиками. При H=0 существуют области самопроизвольного намагничивания с $M \neq 0$. В целом вещество остается ненамагниченным. Магнитная проницаемость $\mu_r >> 1$ и зависит от напряженности поля
Антиферомагнетики	антипаралельная ориентация спиновых моментов соседних атомов	атомы имеют собственные магнитные моменты, одинаковые по значению и противоположно направленные. При H=0, намагниченность M=0, т. к. эти вещества обладают отрицательной обменной энергией. Легированием других веществ могут быть превращены в ферримагнетики.

Из таблицы видно, что наиболее высокими свойствами обладают ферромагнетики и ферримагнетики, в которых можно создавать значительно большие магнитные индукции, чем в других материалах, из-за наличия у них самопроизвольной намагниченности.

3.4. Строение ферромагнетиков

Все процессы намагничивания и перемагничивания обусловлены магнитным взаимодействием атомов. Это взаимодействие приводит к тому, что при отсутствии внешнего магнитного поля ферромагнитные тела разбиваются на области с самопроизвольным намагничиванием, называемые *доменами*.

Объем домена колеблется в пределах $10^{-1} \div 10^{-6}$ см^3. Каждый из доменов намагничен до насыщения в направлении, отличном от направления намагниченности соседних доменов. Насыщенное магнитное состояние домена оценивается намагниченностью насыщения M_S, которая определяется из следующего уравнения:

$$M_S = \lim_{V \to 0} \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{m_i}{V} \right). \qquad (3.6)$$

Направление намагниченности каждого из доменов устанавливается таким, чтобы магнитные моменты их взаимокомпенсировались, и намагниченность ферромагнетика в целом равнялась нулю при отсутствии внешнего намагничивающего поля.

Рассмотрим подробнее, почему это происходит. Допустим, что ферромагнетик имеет однодоменную структуру, при которой магнитные моменты атомов ориентированы параллельно.

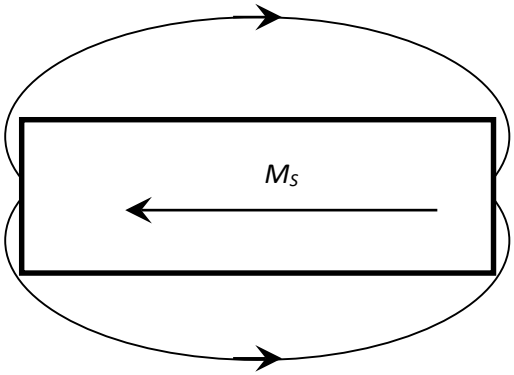


Рис. 3.3. Однодоменная структура строения ферромагнетика

При такой структуре строения (рис. 3.3.) силовые линии магнитного поля замыкаются через окружающее образец воздушное пространство, и, следовательно, в нем возникает размагничивающее поле напряженностью:

$$H_p = -N \cdot M_S, \qquad (3.7)$$

где N – коэффициент размагничивания, значение которого зависит от структуры строения, ферромагнетика (числа доменов).

В отсутствие внешнего магнитного поля свободная магнитостатическая энергия образца в собственном размагничивающем поле зависит от коэффициента размагничивания и может быть определена из уравнения

$$W_{\text{ст}} = -0{,}5N \cdot H_p \cdot M_S = 0{,}5N \cdot M_S^2. \qquad (3.8)$$

Так как коэффициент размагничивания имеет наибольшее значение при однодоменной структуре строения, то и свободная магнитостатическая энергия максимальна именно при такой структуре строения.

Известно, что при отсутствии внешних источников энергии вещество стремится приобрести такую структуру строения, при которой его собственная энергия была бы минимальна. С этой точки зрения однодоменная структура строения для ферромагнетика является энергетически невыгодной, так как в этом случае он обладает максимальной свободной магнитостатической энергией.

Стремясь уменьшить значение магнитостатической энергии, ферромагнетик начинает самопроизвольно делиться на области со спонтанным намагничиванием.

Энергетически более выгодными являются структуры с двумя и четырьмя доменами, рис. 3.4.

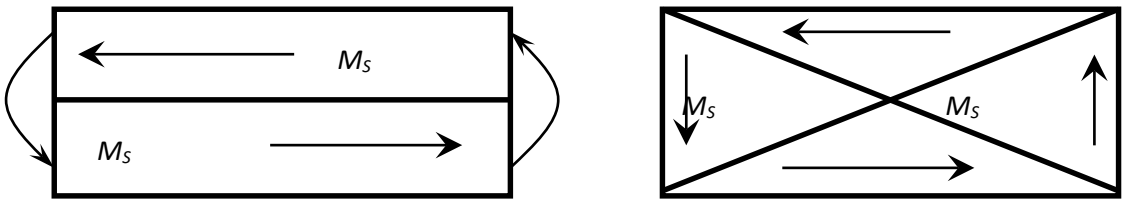


Рис. 3.4. Двухдоменная и четырехдоменная структура строения ферромагнетика

При двухдоменной структуре коэффициент размагничивания и, следовательно, свободная магнитостатическая энергия приблизительно в два раза меньше, чем при однодоменной.

Энергетически еще более выгодной является структура с четырьмя доменами. При самопроизвольном разбиении образца на 4 домена в каждом из них устанавливаются такие направления спонтанной намагниченности, при которых магнитный поток замыкается внутри образца и размагничивающее поле отсутствует, $H_p = 0$.

При переходе от домена к домену направление намагниченности изменяется плавно в пределах слоя, расположенного между соседними доменами. Этот слой получил название стенки, или границы (рис. 3.5).

В пределах границы происходит постепенный поворот спинов от одного направления намагниченности к другому. Толщина стенок соответствует определенному значению общей свободной энергии стенки, которая складывается из обменной энергии, магнитоупругой энергии и энергии магнитной анизотропии.

Спонтанное деление образца ферромагнетика на домены приводит к уменьшению свободной магнитостатической энергии образца. Но одновременно возрастает количество стенок между доменами, что приводит к увеличению свободной энергии, равной сумме свободных энергий всех стенок.

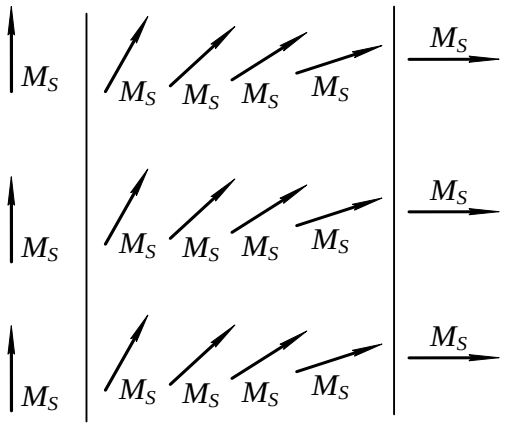


Рис. 3.5. Схема поворота спинов атома в пределах границы домена

Деление ферромагнетика на домены будет продолжаться до тех пор, пока затраты энергии на создание нового домена, равные свободной энергии стенки, не сравняются с уменьшением магнитостатической энергии. Дальнейшее деление ферромагнетика на домены становится энергетически невыгодным.

Доменная структура строения ферромагнетика сохраняется только до определенной температуры, называемой температурой Кюри, или точкой Кюри.

Точка Кюри соответствует равенству кинетической энергии теплового движения и обменной энергии. Поэтому у разных ферромагнетиков точка Кюри различна. Так, у железа она равна 770 °С, у никеля – 358 °С, у кобальта – 1127 °С.

При температуре выше, чем точка Кюри, кинетическая энергия теплового движения становится достаточной для преодоления ориентирующего действия обменной энергии, и состояние самопроизвольной намагниченности доменов нарушается. Ферромагнетик превращается в парамагнетик.

3.5. Явления магнитной анизотропии и магнитострикции

Практически все ферромагнетики состоят из большого числа кристаллов. Кристаллы различных материалов имеют разные пространственные кристаллические решетки, в узлах которых находятся атомы вещества. Так, кристалл железа представляет собой куб, в вершинах и в центре которого располагаются атомы железа (рис. 3.6, *а*).

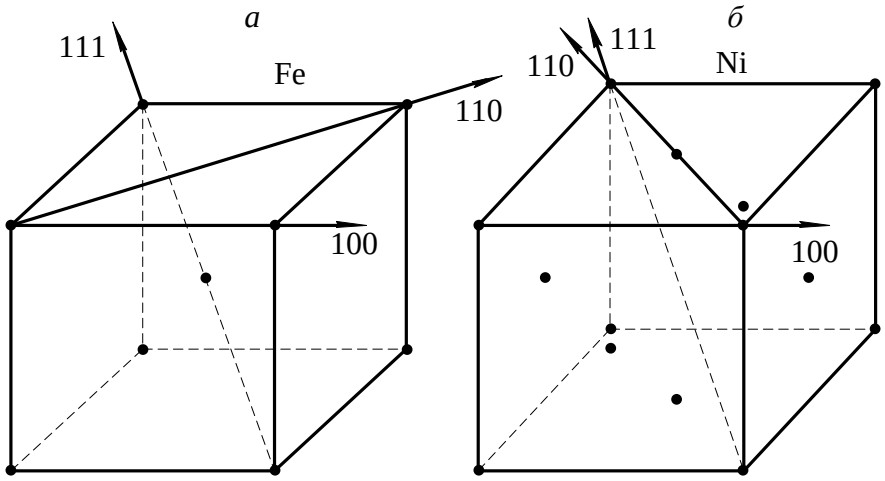


Рис. 3.6. Основные кристаллографические направления железа и никеля

В кристаллах железа различают три основные кристаллографических направления:

- 100 – направление по ребру куба;
- 110 – направление по диагонали грани куба;
- 111 – направление по диагонали грани самого куба.

Если ферромагнетик намагничивать по различным кристаллографическим направлениям, то состояние насыщения будет достигаться при разных значениях напряженности магнитного поля.

Состояние магнитного насыщения железа достигается при наименьшей напряженности намагничивающего поля, если намагничивание производится по направлению 100, т. е. по ребру куба. И наоборот, насыщение железа происходит

при максимальной напряженности намагничивающего поля, если намагничивание производится по кристаллографической оси 111.

Направление 100 называется *осью легкого намагничивания*, направление 111 – *осью трудного намагничивания*.

Если железо намагничивать по кристаллографическому направлению 110, то насыщение материала достигается при меньшей напряженности намагничивающего поля, чем при намагничивании по оси 111 и большей, чем при намагничивании по кристаллографическому направлению 100. Кристаллографическое направление 110 называется *осью среднего намагничивания*. Кривые намагничивания для разных направлений железа приведены на рисунке 3.7.

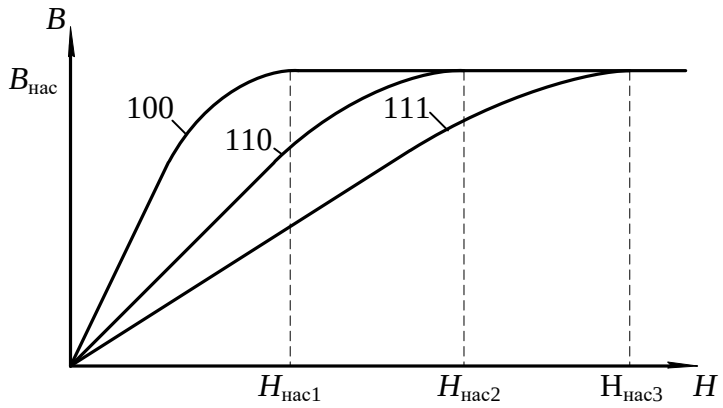


Рис. 3.7. Кривые намагничивания для разных направлений железа

В отличие от железа, у кристалла никеля атомы располагаются в вершинах и в центрах каждой грани куба. Такое расположение атомов в кристалле никеля приводит к изменению осей легкого и трудного намагничивания. У никеля осью легкого намагничивания является направление 111, а осью трудного намагничивания – кристаллографическое направление 100 (рис. 3.6, *б*). Направление среднего намагничивания у никеля остается таким же, что и у железа –110.

Различие магнитных свойств у ферромагнетиков при намагничивании по различным кристаллографическим направлениям называется *м а г н и т н о й а н и з о т р о п и е й* .

Явление магнитной анизотропии учитывается при изготовлении холоднокатаных анизотропных текстурованных электротехнических сталей. У таких сталей оси легкого намагничивания всех кристаллов совпадают с направлением прокатки. Применение анизотропных холоднокатаных сталей позволяет уменьшить вес электрических машин примерно на одну треть, по сравнению с электрическими машинами такой же мощности, в которых используется изотропная горячекатаная сталь.

Намагничивание ферромагнетиков сопровождается изменением линейных размеров образца за счет магнитного взаимодействия электронов, вызывающего изменение расстояний и деформацию кристаллической решетки. Это явление называется *магнитострикцией*. Относительное изменение линейных размеров ферромагнетика при намагничивании оценивается коэффициентом магнитострикции:

$$\lambda = \pm \frac{\Delta l}{l},$$

где Δl – удлинение образца ферромагнетика при намагничивании; l – исходная длина образца до намагничивания.

Значение и знак коэффициента магнитострикции зависят от направления намагничивания и вида ферромагнетика.

Так, при намагничивании кристалла железа по оси легкого намагничивания происходит его удлинение вдоль этой оси и, следовательно, коэффициент магнитострикции является положительным.

Если же железо намагничивать по оси трудного намагничивания, то происходит укорочение образца вдоль данной оси, т. е. коэффициент магнитострикции отрицателен.

В отличие от железа, у кристаллов никеля коэффициент магнитострикции отрицателен при намагничивании по оси легкого намагничивания 111, и положителен, если намагничивать кристалл по оси трудного намагничивания.

Удлинение или сжатие ферромагнетика в направлении намагничивающего поля сопровождается сжатием или удлинением, соответственно, в поперечном направлении.

Явление магнитострикции обнаруживается и во влиянии внешних механических воздействий на магнитные свойства ферромагнетиков.

Растяжение ферромагнетика внешними механическими силами вызывает облегчение, а сжатие – затруднение процесса намагничивания, если у ферромагнетика положительный коэффициент магнитострикции. Для материалов с отрицательным коэффициентом магнитострикции сжатие приводит к облегчению, а растяжение – к затруднению процесса намагничивания. Явление магнитострикции широко используется в технике. Например, в области ультразвуковой локации магнитострикционные материалы широко используются как источники ультразвука.

Явление магнитострикции, свойственное магнитным материалам, приводит к тому, что линейные размеры магнитопроводов машин переменного тока колеблются с частотой, равной частоте переменного магнитного поля. Это приводит к возникновению дополнительных механических напряжений в местах

крепления магнитопровода к корпусу электрической машины и появлению шума, что является нежелательным.

3.6. Намагничивание ферромагнетика

Если размагниченный ферромагнетик поместить в магнитное поле, то под воздействием напряженности поля начинается перераспределение магнитных моментов доменов, в результате которого появляется намагниченность ферромагнетика в направлении напряженности намагничивающегося поля.

Внутри ферромагнетика создается магнитная индукция, значение которой определяется намагниченностью ферромагнетика и напряженностью H намагничивающего поля:

$$B = \mu_0(H + M). \qquad (3.9)$$

В ферромагнетиках внутренняя намагниченность значительно больше напряженности намагничивающего поля ($H > M$). В связи с этим значение магнитной индукции, в основном, определяется внутренней намагниченностью ферромагнетика, а не напряженностью внешнего поля.

Рассмотрим подробнее процесс намагничивания ферромагнетика. На рис. 3.8. приведена основная кривая намагничивания .

Выделим на этой кривой участки, в пределах которых возрастание магнитной индукции обусловливается различными процессами.

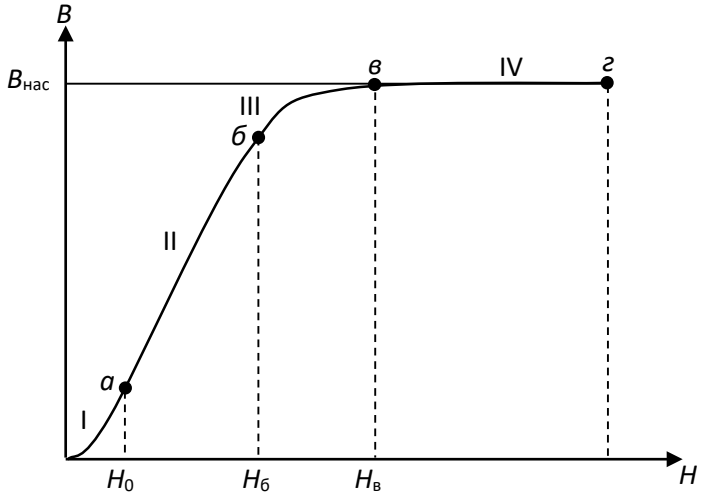


Рис. 3.8. Основная кривая намагничивания ферромагнетика

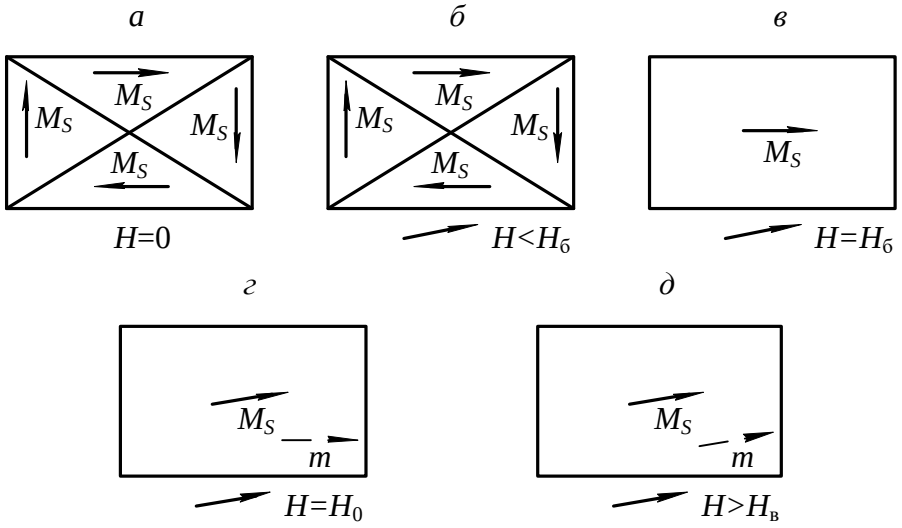


Рис. 3.9. Схема намагничивания ферромагнетика

Из параграфа 3.4. известно, что размагниченный образец ферромагнитного материала при отсутствии магнитного поля (H = 0) самопроизвольно разбивается на домены, направление намагниченности каждого из которых такое, что суммарная намагниченность образца в целом равна 0 (рис. 3.9, *а*).

Намагничиваем образец, плавно увеличивая напряженность магнитного поля. В диапазоне изменения напряженности H от 0 до $H_а$ происходит рост объема (смещение границ) тех доменов, у которых направление собственной намагниченности наиболее близко к направлению напряженности внешнего намагничивающего поля (рис. 3.9, *б*). Процесс роста домена в этом диапазоне осуществляется вполне упруго и без потерь энергии. Если напряженность поля опять уменьшить до 0, то ферромагнетик вернется в исходное размагниченное состояние (см. рис. 3.9, *а*).

При возрастании напряженности в диапазоне $H_а < H < H_б$ магнитная индукция за счет продолжающегося смягчения границ доменов с наименьшим углом между собственностью и напряженностью намагничивающегося поля (рис. 3.9, *б*). Только этот процесс приобретает необратимый характер и связан с потерями энергии. Необратимость процесса на участке II кривой намагничивания (см. рис. 3.8) обусловлена тем, что неоднородные внутренние напряжения, инородные включения, пустоты и дефекты, всегда имеющиеся в материале, препятствуют смещению границ доменов. Наличие препятствий приводит к тому, что при плавном повышении напряженности поля индукция в ферромагнетике изменяется скачкообразно. Скачкообразное изменение индукции вызывает появление микроскопических вихревых токов, при протекании которых происходит нагрев образца, т.е. в материале возникают потери энергии на намагничивание.

Чтобы размагнитить образец после того, как напряженность поля возросла до $H > H_а$, необходимо изменить направление напряженности поля на обратное и опять затратить энергию. Когда напряженность поля $H = H_б$, ферромагнетик приобретает однодоменную структуру строения (рис. 3.9, *в*), но направление намагниченности отлично от направления напряженности намагничивающегося поля.

Дальнейшее повышение напряженности поля вызывает рост магнитной индукции в образце за счет процесса ориентации магнитных моментов в направлении поля (поворот моментов). Когда направление магнитных моментов домена совпадает с направлением напряженности намагничивающего поля, рост магнитной индукции практически прекратится с ростом напряженности поля (рис. 3.9, *г*).

Такое состояние ферромагнетика называется техническим насыщением. Напряженность поля в точке «в» кривой намагничивания обозначается H_S и называется *напряженностью насыщения*.

С дальнейшим ростом напряженности поля ($H > H_в$) наблюдается медленное и весьма незначительное повышение намагниченности за счет парапроцесса, заключающегося в дополнительной ориентации спиновых моментов электронов, направление которых отлично от направления поля из-за теплового движения частиц.

3.7. Свойства ферромагнитных материалов в квазипостоянных магнитных полях

Квазипостоянным магнитным полем называется такое переменное поле, напряженность которого изменяется с частотой, близкой к 0, и амплитудой, равной H_m .

Если предварительно размагниченный образец поместить в квазипостоянное магнитное поле, то при возрастании напряженности поля от 0 до + H_m индукция в образце увеличивается в соответствии с основной кривой намагничивания (участок *ОА*, рис. 3.10).

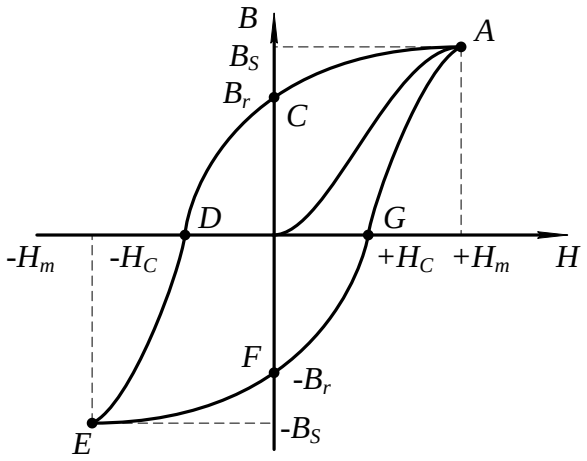


Рис. 3.10. Петля гистерезиса ферромагнетика

После того, как напряженность намагничивающего поля достигнет значения, равного амплитудному, она начинает уменьшаться до 0, вызывая снижение магнитной индукции за счет обратного поворота магнитного момента домена в направлении ближайшей оси легкого намагничивания. Когда напряженность поля станет равной 0, в ферромагнетике сохранится остаточная магнитная индукция B_r (участок *AC*, см. рис. 3.10). В дальнейшем напряженность намагничивающего поля изменяет свое направление на обратное и становится «отрицательной», вызывая дальнейшее уменьшение магнитной индукции (участок *CD*, см. рис. 3.10). На этом участке происходит необратимое разделение однодоменной структуры ферромагнетика на ряд доменов с различными направлениями собственных магнитных моментов. Когда напряженность поля H становится равной $-H_C$ (коэрцитивная сила), ферромагнетик приобретает структуру, аналогичную структуре строения до начала намагничивания, а индукция образца становится равной нулю (точка *D*, см. рис. 3.10).

На участке *DE* напряженность поля изменяется в пределах от $-H_C$ до $-H_m$. Магнитная индукция в образце возрастает за счет смещения границ доменов и последующей ориентации векторов намагниченности в направлении действия поля.

Достигнув амплитудного значения, напряженность магнитного поля начинает изменяться от $-H_m$ до 0.

Индукция в образце уменьшается до значения, равного остаточной магнитной индукции (участок *EF*) за счет процесса, аналогичного процессу размагничивания ферромагнетика на участке АС.

При изменении напряженности поля от 0 до $+H_C$ (участок *FG*) продолжается процесс размагничивания образца аналогично размагничиванию на участке *CD*. Когда $H = H_C$, индукция в образце равна 0.

Дальнейшее возрастание напряженности поля до амплитудного значения приводит к намагничиванию образца и возрастанию индукции.

Таким образом, зависимость магнитной индукции от напряженности квазипостоянного поля за полный цикл перемагничивания представляет петлю, называемую *петлей гистерезиса*.

Площадь петли гистерезиса пропорциональна потерям на гистерезис.

Если после каждого цикла перемагничивания увеличивать амплитуду напряженности квазипостоянного магнитного поля, то получится семейство петель гистерезиса. Причем большему значению амплитуды напряженности поля будет соответствовать петля с большей амплитудой магнитной индукции и площадью петли (рис. 3.11). Когда напряженность поля достигает значения, при котором наступает насыщение ферромагнетика, площадь петли гистерезиса максимальна. При дальнейшем возрастании амплитуды напряженности площадь петли остается постоянной, а в концах петли появляются прямолинейные участки со слабым возрастанием магнитной индукции.

Петля с наибольшей площадью называется *п р е д е л ь н о й п е т л е й г и с т е р е з и с а* .

По предельной петле гистерезиса определяются основные характеристики магнитных материалов, значения которых приводятся в справочниках; индукция технического насыщения, B_s; напряженность поля, при которой достигается насыщение ферромагнетика, H_s; остаточная индукция, B_r; коэрцитивная сила, H_c.

Если через вершины семейства петель гистерезиса провести линию, то полученная кривая $B_m = f(H_m)$ представляет собой основную кривую намагничивания.

По основной кривой намагничивания определяются абсолютная и относительная магнитные проницаемости:

$$\mu_a = \frac{B_m}{H_m}; \tag{3.10}$$

$$\mu_r = \frac{B_m}{(\mu_o \cdot H_m)}, \tag{3.11}$$

где μ_a – абсолютная магнитная проницаемость.

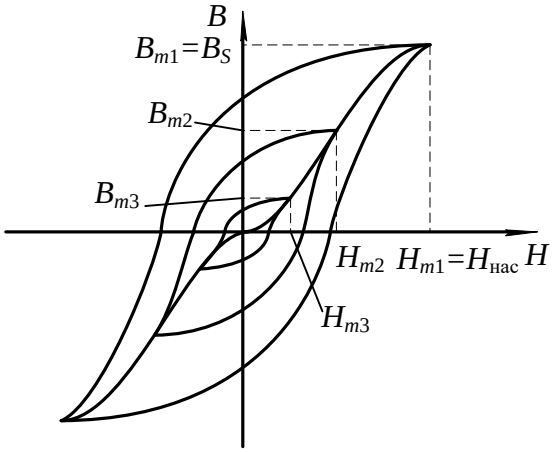


Рис. 3.11. Семейство петель гистерезиса

Определяя значение относительной магнитной проницаемости для каждого значения напряженности намагничивающего поля по основой кривой намагничивания, можно получить зависимость $\mu_r = f(H_m)$, (рис. 3.12).

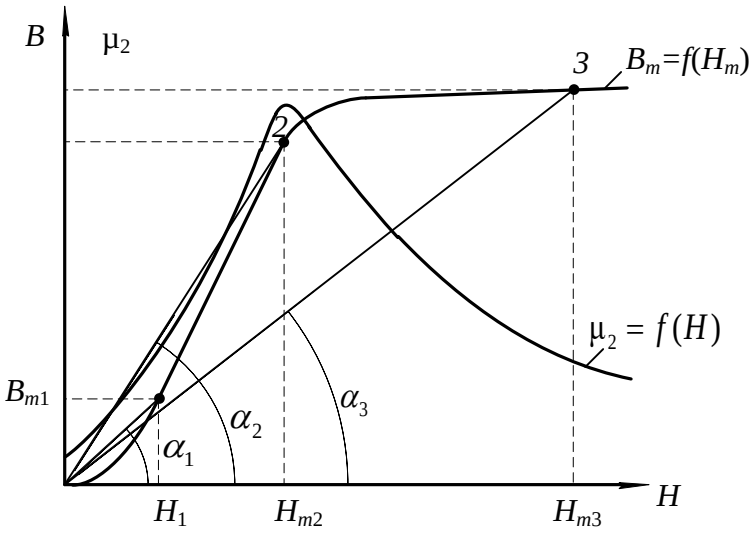


Рис. 3.12. Зависимость относительной магнитной проницаемости от напряженности поля

Как видно из рис. 3.12,относительная магнитная проницаемость с ростом напряженности поля вначале возрастает от $\mu_{нач}$ до μ_{max}, а затем уменьшается. Неоднозначный характер изменения μ_r связан с видом основной кривой намагничивания. Покажем это на примере. Допустим, что необходимо определить проницаемость материала μ_r в точках 1, 2 и 3.

Тогда, в соответствии с формулой (3.11):

$$\mu_{r1} = \frac{B_1}{(\mu_o \cdot H_1)};$$

$$\mu_{r2} = \frac{B_2}{(\mu_o \cdot H_2)};$$

$$\mu_{r3} = \frac{B_3}{(\mu_o \cdot H_3)}.$$

B_1 и H_1, B_2 и H_2, B_3 и H_3 с учетом масштабов по индукции и напряженности представляют собой катеты прямоугольных треугольников с вершинами O_{11}, O_{22} и O_{33} соответственно, а отношения B_1/H_1, B_2/H_2, B_3/H_3 являются тангенсами углов наклона, образованных прямыми, проведенными из начала координат в точки 1, 2, 3, на кривой намагничивания.

Вследствие переменной крутизны основной кривой намагничивания, угол наклона этих прямых сначала возрастает, затем, когда ферромагнетик входит в состояние насыщения, уменьшается с ростом напряженности намагничивающего поля. Максимальное значение магнитной проницаемости μ_r достигается в той точке кривой намагничивания, в которой прямая, соединяющая эту точку с началом координат, является касательной к кривой намагничивания. Значение магнитной проницаемости в этой точке обозначается $\mu_{r\ \max}$ и обычно находится в начале участка *б – в* кривой намагничивания (см. рис. 3.8).

Определение магнитной проницаемости μ_r при напряженности поля $H = 0$ в соответствии с уравнением (3.11) лишено смысла, так как значение относительной магнитной проницаемости в этом случае неопределенно. В связи с этим введено понятие *начальной магнитной проницаемости* $\mu_{r\ \text{нач}}$.

За начальную магнитную проницаемость принимается предельное значение отношения индукции, деленной на магнитную постоянную, к напряженности при стремлении напряженности магнитного поля к нулю:

$$\mu_{r\ \text{нач}} = \frac{1}{\mu_o} \cdot \lim_{H \to 0} \frac{B}{H}. \qquad (3.12)$$

Практически начальная магнитная проницаемость $\mu_{r\ \text{нач}}$ определяется при напряженности поля $H \leq 0{,}1$ А/м.

Значения начальной $\mu_{r\ \text{нач}}$ и максимальной $\mu_{r\ \max}$ магнитных проницаемостей для каждого магнитного материала приводятся в справочниках.

3.8. Дифференциальная магнитная проницаемость

Неоднозначность зависимости магнитной индукции от напряженности поля существенно усложняет расчет и анализ цепей, содержащих магнитные элементы. С целью упрощения, расчеты и анализ электромагнитных цепей часто ведутся по основной кривой намагничивания $B=f(H)$, что в ряде случаев приводит к существенным ошибкам. Особенно это касается тех ферромагнитных устройств, форма и значение выходного напряжения которых зависят от того, как и в каких пределах изменяется на напряженность магнитного поля. Для таких устройств введена еще одна характеристика магнитного материала – дифференциальная магнитная проницаемость:

$$\mu_{rg} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{dB}{dH}, \qquad (3.13)$$

где $\frac{dB}{dH}$ – производная от магнитной индукции по напряженности поля в заданной точке петли гистезиса.

Если определить μ_{rg} в каждой точке петли гистезиса, то можно получить зависимость $\mu_{rg}=f(H)$, представленную на рис. 3.13.

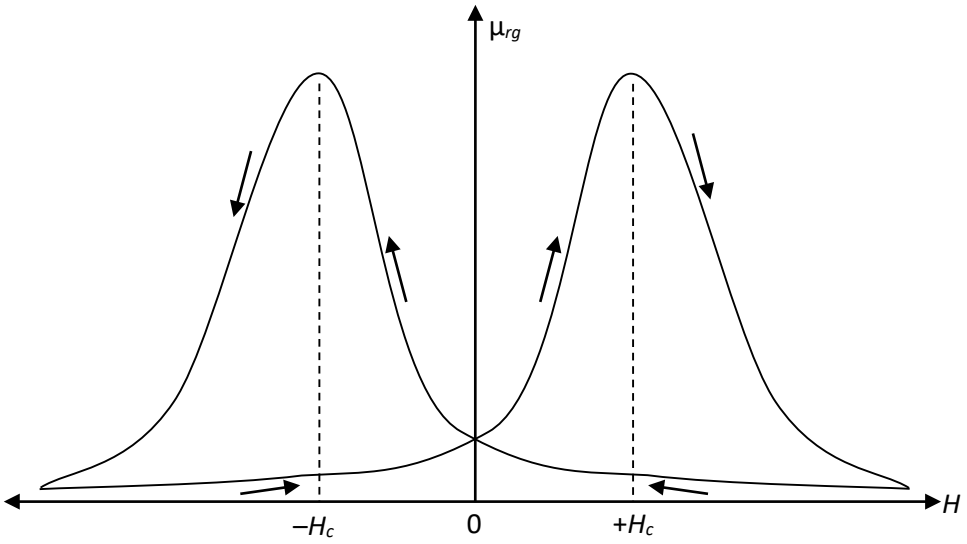


Рис. 3.13. Зависимость дифференциальной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля

Полученная зависимость $\mu_{rg}=f(H)$ за полный цикл перемагничивания представляет собой замкнутую петлю с двумя максимумами. Максимальные значения μ_{rg} достигаются при напряженностях магнитного поля, приблизительно равных коэффициентной силе $H=\pm H_c$. Минимальные значения μ_{rg} соответствуют вершинам предельной петли гистезиса.

В диапазоне напряженности от 0 до $+H_c$ дифференциальная магнитная проницаемость возрастает до $\mu_{rg\max}$, т. к. возрастает производная от индукции по напряженности (крутизна петли гистезиса) $\frac{dB}{dH}$ (участок *FG*, рис. 3.10).

При изменении напряженности поля от $+H_c$ до $+H_m$ μ_{rg} уменьшается из-за уменьшения крутизны петли гистезиса (участок *GA* рис. 3.10).

Последующее уменьшение *H* от $+H_m$ до 0, вызывает медленное возрастание дифференциальной магнитной проницаемости, т. к. крутизна петли гистезиса на участке *AC* (рис. 3.10) медленно растет.

Характер зависимости $\mu_{rg}=f(H)$ при отрицательных значениях напряженности аналогичен характеру этой же зависимости при положительных значениях напряженности.

3.9. Свойства ферромагнетиков в переменных магнитных полях

3.9.1. Динамическая петля намагничивания

Когда на магнитный материал воздействует переменное магнитное поле, напряженность которого изменяется с частотой *f*, то он периодически перемагничивается с той же самой частотой. При таком циклическом перемагничивании зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля представляет собой петлю, которая называется *динамической петлей намагничивания.*

Площадь динамической петли намагничивания больше площади петли гистерезиса, полученной при той же амплитуде напряженности поля. Это объясняется тем, что потери на перемагничивание в переменных магнитных полях больше, чем в квазипостоянных. Если изменять амплитуду напряженности переменного магнитного поля, то можно получить семейство динамических петель намагничивания (рис. 3.14).

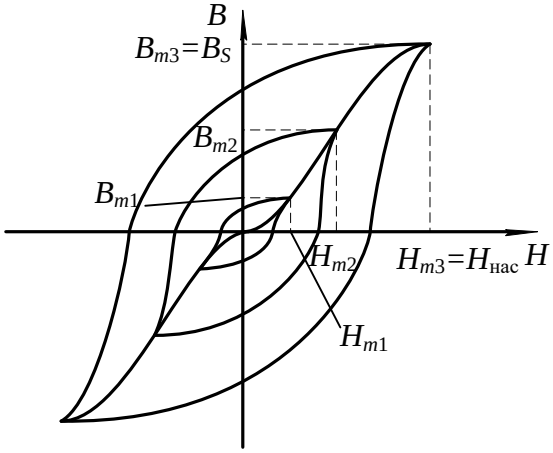


Рис. 3.14. Семейство динамических петель намагничивания

Как видно из рис. 3.14, с увеличением амплитуды напряженности магнитного поля растут амплитуда магнитной индукции и площадь динамической петли намагничивания. После того, как амплитуда напряженности поля достигает значения, при котором наступает насыщение магнитного материала, возрастание индукции и площади петли прекращается, а в вершинах петли появляются линейные участки, практически параллельные оси напряженности поля.

Петля с наибольшей площадью называется *предельной динамической петлей намагничивания.*

Если через вершины семейства динамических петель намагничивания провести линию, то полученная зависимость $B_m = f(H_m)$ называется *основной динамической кривой намагничивания*.

По предельной динамической петле намагничивания и динамической кривой намагничивания определяются основные характеристики магнитных материалов в переменном магнитном поле аналогично определению характеристик этих материалов в квазипостоянном магнитном поле.

3.9.2. Эффект вытеснения магнитного поля при перемагничивании ферромагнетиков в переменном поле

Перемагничивание в переменном магнитном поле приводит к появлению в магнитных материалах вихревых токов, протекание которых вызывает появление эффекта вытеснения магнитного поля из центра к периферии образца.

Рассмотрим подробнее это явление.

Пусть имеется образец магнитного материала площадью сечения S (рис. 3.15).

Можно разбить сечение такого образца на ряд элементарных замкнутых контуров толщиной Δh. Переменный магнитный поток, сцепляясь с каждым из элементарных витков, наводит в них ЭДС.

Под воздействием наведенной ЭДС в каждом из витков начнет протекать макроскопический вихревой ток, который создает свою магнитодвижущую силу $F_{вт}$, направленную противоположно основной магнитодвижущей силе, создающей переменный магнитный поток в образце. Таким образом, в переменном магнитном поле на магнитный материал воздействуют две магнитодвижущие силы, направленные встречно друг другу. В результате возникает результирующая магнитодвижущая сила (МДС), которая может быть определена как разность двух магнитодвижущих сил:

$$F_{р} = F - F_{вт},$$

где $F_{р}$ – результирующая МДС; F – основная МДС, создаваемая намагничивающим током; $F_{вт}$ – МДС вихревого тока.

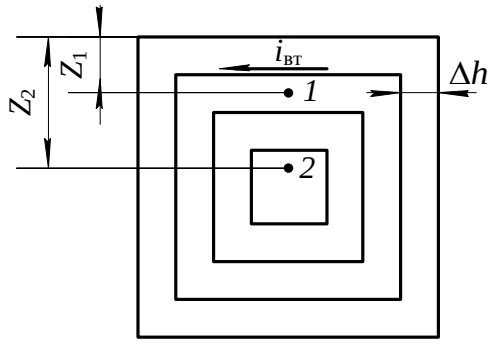


Рис. 3.15. К объяснению эффекта вытеснения

Известно, что значение магнитодвижущей силы вихревого тока в какой-либо точке сечения образца зависит от числа элементарных контуров, охватывающих данную точку. Поскольку точка *2* охвачена большим числом элементарных контуров с вихревыми токами, чем точка *1*, то можно сделать вывод, что магнитодвижущая сила вихревого тока возрастает по мере удаления от поверхности образца к центру (рис. 3.16). Экспериментально установлено, что МДС вихревого тока зависит от расстояния до заданной точки от поверхности образца по экспоненциальному закону (кривые $F_{вт1}$ и $F_{вт2}$).

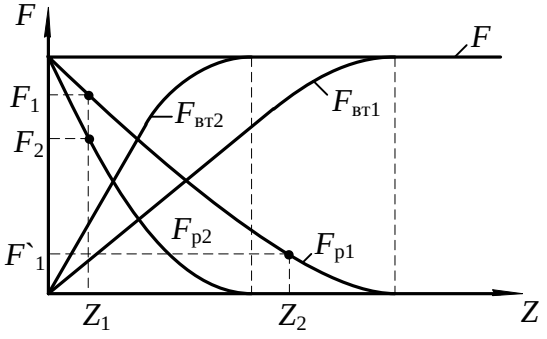


Рис. 3.16. Зависимость изменения результирующей МДС от расстояния до поверхности образца

На рис. 3.16 построены зависимости магнитодвижущих сил от расстояния Z для двух различных частот намагничивающего поля f_1 и f_2 ($f_1 > f_2$). Тогда

результирующая магнитодвижущая сила по мере удаления от поверхности образца к его центру убывает также по экспоненциальному закону (кривые F_{p1} и F_{p2}). Аналогично результирующей магнитодвижущей силе уменьшается и напряженность магнитного поля по мере удаления от поверхности образца к центру. Зависимость напряженности поля от расстояния определяется из уравнения:

$$H(Z) = H_{\max} \cdot e^{-bz}.$$

где H_{max} – напряженность поля на поверхности образца; Z – расстояние от поверхности образца; $b = 2\pi \frac{\sqrt{\frac{\mu_p \cdot \gamma}{T}}}{C}$; C – константа, обусловленная выбором системы единиц; T – период волны напряженности поля; γ – удельная проводимость образца.

В соответствии с изменением напряженности переменного магнитного поля уменьшается индукция в образце с увеличением расстояния от его поверхности. При достаточно большой толщине образца уменьшение индукции может привести к тому, что в центральной части сечения образца индукция будет равна 0, а магнитный поток в ней отсутствовать. Таким образом, за счет макроскопических вихревых токов возникает эффект вытеснения магнитного потока из центральной части сечения образца к периферии. Следовательно, из-за эффекта-вытеснения магнитного поля уменьшается площадь сечения образца, по которой проходит магнитный поток. Уменьшение площади сечения приводит к возрастанию магнитного сопротивления образца и соответствующему падению величины магнитного потока. Зависимость магнитного потока Ф в ферромагнетике от магнитодвижущей силы F и от сопротивления магнитной цепи $R_м$ описывается формулой

$$\Phi = \frac{F}{R_м}.$$

Магнитное сопротивление определяется по уравнению:

$$R_м = \frac{l}{S' \cdot \mu_a},$$

где и S' – длина и площадь сечения образца ферромагнетика, через которую проходит магнитный поток; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость ферромагнетика.

Как видно из вышеприведенных равенств, уменьшение площади, по которой проходит магнитный поток, вызываем возрастание магнитного сопротивления образца. А увеличение магнитного сопротивления уменьшает

магнитный поток в ферромагнетике при неизменной магнитодвижущей силе. Т.к. геометрические размеры образца (длина и площадь сечения) остаются постоянными при намагничивании, то уменьшение магнитного потока к снижению магнитной индукции в образце:

$$B = \frac{\Phi}{S},$$

где S – геометрическая площадь сечения образца.

Для оценки влияния эффекта вытеснения на магнитное сопротивление образца используется характеристика, называемая *глубиной проникновения переменного магнитного поля в ферромагнетик*:

$$Z_1 = \frac{1}{b},$$

где Z_1 – глубина проникновения переменного магнитного поля.

Глубиной проникновения называется расстояние от поверхности образца, на котором амплитудное значение напряженности магнитного поля уменьшается в 2,7 раза, по сравнению с напряженностью поля на поверхности образца.

Глубина проникновения определяется химическим составом ферромагнетика и частотой магнитного поля.

Для ослабления эффекта вытеснения магнитопроводы электрических машин собирают из отдельных листов электротехнической стали, толщина которых не превышает Z_1. На поверхности листов стали наносятся электроизоляционные покрытия (лаковые, оксидные и т. п.), обладающие высокими электрическими сопротивлениями, наличие участков с высоким электрическим сопротивлением на пути протекания вихревых токов приводит к их уменьшению и соответственному ослаблению эффекта вытеснения.

При больших толщинах листов, чем Z_1 или цельнолитых магнитопроводах, магнитные свойства ферромагнетиков используются плохо из-за ярко выраженного эффекта вытеснения.

Существенное влияние на эффект вытеснения оказывает частота переменного магнитного поля. Это объясняется тем, что с ростом частоты увеличивается ЭДС $E_{вт}$, наводимая в элементарном контуре, так как значение ее прямо пропорционально частоте. Возрастание ЭДС приводит к увеличению вихревого тока и МДС $F_{вт}$. Поэтому на одном и том же расстоянии Z от поверхности образца (см. рис. 3.16) результирующая магнитодвижущая сила при большей частоте окажется меньше, чем при меньшей частоте намагничивающего тока. Следовательно, с ростом частоты глубина проникновения переменного магнитного поля уменьшается, что вызывает соответствующее снижение среднего значения индукции в образце.

На рис. 3.16 приведены зависимости $F_{\text{р}} = f(Z)$ для двух значений частоты магнитного поля. Зависимость $F_{\text{р}2} = f(Z)$ соответствует большей частоте магнитного поля, чем у $F_{\text{р}1} = f(Z)$.

3.9.3. Потери на перемагничивание в переменном магнитном поле

Потери мощности на перемагничивание в переменном магнитном поле больше, чем в квазипостоянном поле. Это связано с тем, что в переменном магнитном поле помимо потерь на гистерезис существуют также потери от вихревых токов и добавочные потери.

Потери мощности на перемагничивание определяются следующим образом:

$$P = P_r + P_{\text{вт}} + P_g, \tag{3.14}$$

где потери мощности на гистерезис:

$$P_r = \vartheta \cdot f \cdot B_{\max}^{n} \cdot V, \tag{3.15}$$

то же от вихревых токов:

$$P_{\text{вт}} = \xi \cdot f^{2} \cdot B_{\max}^{2} \cdot V, \tag{3.16}$$

где ϑ – коэффициент, зависящий от марки ферромагнетика; ξ – коэффициент, зависящий от марки ферромагнетика, толщины листа и формы образца; V – объем ферромагнитного образца; P_g – добавочные потери; n – коэффициент, значение которого определяется величиной индукции в ферромагнетике.

Коэффициент n принимает следующие значения:

$n = 1$ при $B_{\max} \le 0{,}1$ Тл;

$n = 1{,}6$ при $B_{\max} \approx 0{,}1 - 1{,}0$ Тл;

$n = 2 - 3$ при $B_{\max} > 1{,}0$ Тл.

Природа добавочных потерь полностью не выяснена. Эти потери связаны со структурой строения ферромагнетика, формой и размерами зерен вещества. При практических расчетах потерь их значение принимается примерно равным (0,2 – 0,3) от суммы потерь на гистерезис и вихревые токи:

$$P_g = (0{,}2 - 0{,}3) \cdot (P_r + P_{\text{вт}}).$$

3.9.4. Потери на перемагничивание в переменном магнитном поле

Определение свойств ферромагнитных материалов может производиться двумя методами. Первый из них заключается в следующем. Изменяется частота магнитного поля, а индукция, создаваемая в образце, поддерживается неизменной ($f = V_{ar}$, $B_m = \text{const}$). При втором методе с изменением частоты поля поддерживается неизменной напряженность магнитного поля ($f = V_{ar}$, $H_m = \text{const}$).

С увеличением частоты переменного магнитного поля, при условии постоянства амплитуды магнитной индукции, в образце $B_m = \text{const}$, форма динамической петли приближается к эллипсу, вытянутому по оси H (рис. 3.17).

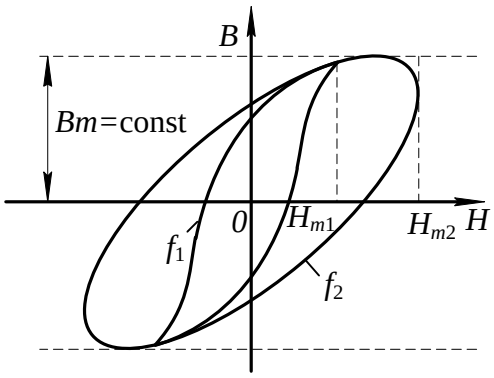


Рис. 3.17. Семейство динамических петель намагничивания

Площадь динамической петли с ростом частоты увеличивается пропорционально потерям мощности на перемагничивание.

Определив значения относительной магнитной проницаемости в вершинах семейства динамических петель намагничивания и потери на перемагничивание, можно построить зависимости $\mu_r = F(f)$ и $P = F(f)$. Эти зависимости приведены на рис. 3.18.

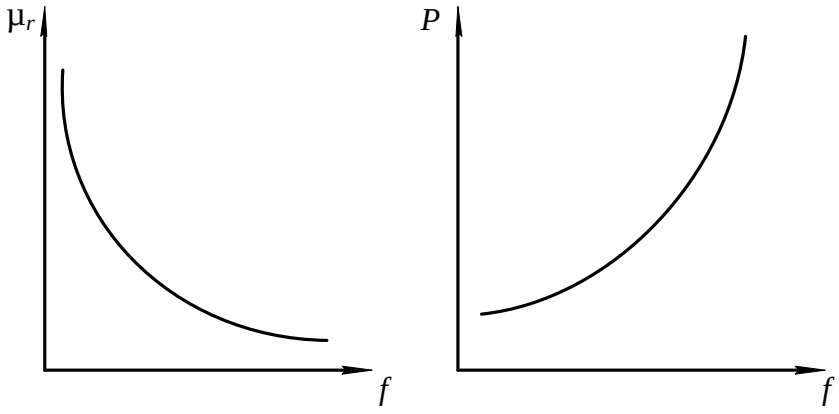


Рис. 3.18. Зависимости $\mu_r = F(f)$

Из рис. 3.18 видно, что с ростом частоты относительная магнитная проницаемость уменьшается. Это явление можно объяснить следующим. С возрастанием частоты переменного магнитного поля уменьшается среднее значение индукции в образце за счет усиления эффекта вытеснения магнитного поля.

Для того чтобы компенсировать уменьшение индукции, необходимо увеличивать напряженность намагничивающего поля. А так как

$$\mu_r = \frac{B_m}{H_m \cdot \mu_0},$$

то относительная магнитная проницаемость μ_r уменьшается с ростом частоты из-за увеличения амплитуды напряженности поля H_m.

При неизменной магнитной индукции характер изменения потерь мощности на перемагничивание определяется зависимостью этих потерь от вихревых токов. А так как потери мощности пропорциональны квадрату частоты переменного поля, то и зависимость этих потерь в ферромагнетике имеет квадратичный характер от изменения частоты (см. рис. 3.18).

Если увеличивать частоту переменного магнитного поля, поддерживая постоянной его напряженность, то форма динамической петли приближается к эллипсу, а амплитуда магнитной индукции уменьшается (рис. 3.19).

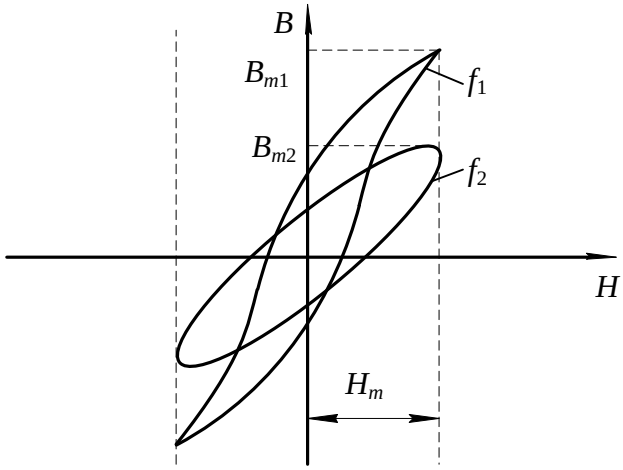


Рис. 3.19. Семейство динамических петель намагничивания при $H_m = \text{const}$

Определив по семейству динамических петель намагничивания значения магнитной проницаемости μ_r и потери мощности на перемагничивание, строим зависимости $\mu_r = F(f)$ и $P = F(f)$ (рис. 3.20).

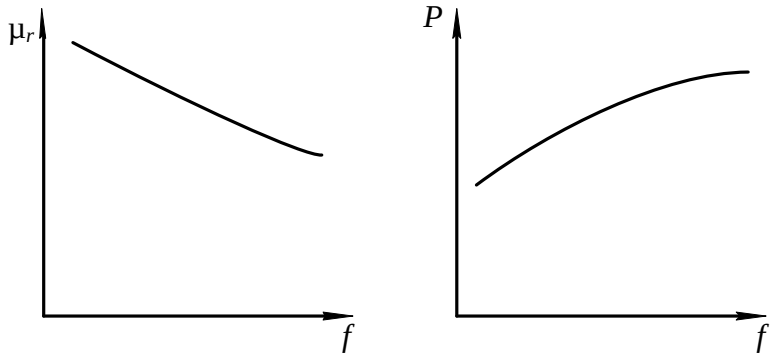


Рис. 3.20. Зависимости $\mu_r = F(f)$ и $P = F(f)$

С ростом частоты относительная магнитная проницаемость ферромагнетика уменьшается, но в меньших пределах, по сравнению с пределом изменения ее при $B_m = \text{const}$ в одном и том же интервале изменения частоты. Это объясняется тем, что с ростом частоты уменьшается амплитуда магнитной индукции ферромагнетика из-за усиления эффекта вытеснения. Электродвижущая сила, наводимая в элементарном контуре $E_{\text{вт}}$, зависит от индукции B_m и частоты f магнитного поля:

$$E_{\text{вт}} \approx S \cdot B_m \cdot f \ ,$$

где S – поперечное сечение образца.

Из приведенного уравнения видно, что электродвижущая сила вихревого тока при неизменной напряженности поля возрастает с увеличением частоты медленнее, чем при постоянной амплитуде магнитной индукции, так как рост ЭДС за счет частоты частично компенсируется ее уменьшением из-за снижения магнитной индукции. Медленное возрастание электродвижущей силы, а следовательно, и вихревого тока, протекающего по элементарному контуру, приводит к тому, что эффект вытеснения при неизменной амплитуде напряженности выражен менее ярко, чем при $B_m = \text{const}$.

Поэтому относительная магнитная проницаемость изменяется в меньшем диапазоне по сравнению со случаем, когда магнитная индукция поддерживалась неизменно.

Анализ уравнений (3.15, 3.16) показывает, что потери на гистерезис и вихревые токи возрастают незначительно с повышением частоты, так как их рост с повышением частоты частично компенсируется за счет уменьшения магнитной индукции в образце. Таким образом, потери на перемагничивание ферромагнетика в целом медленно увеличиваются с ростом частоты магнитного поля.

3.10. Индукционный метод определения параметров магнитных материалов с использованием осциллографа

Общие сведения

В связи с тем, что невозможно с достаточной степенью точности рассчитать характеристики магнитных материалов при намагничивании в переменном поле, широко используются экспериментальные методы их определения.

В настоящее время разработаны и используются на практике различные методы испытаний ферромагнитных материалов в переменном магнитном поле.

Основными из них являются:

- индукционный с использованием амперметра и вольтметра;
- индукционный с использованием фазочувствительного вольтметра (феррометр);
- индукционный с использованием осциллографического способа измерения (феррограф);
- индукционный с использованием компенсатора переменного тока;
- параметрический (мостовой).

При испытаниях индукционными методами измеряются ЭДС, индуктируемые в измерительных обмотках, и токи, протекающие по намагничивающим обмоткам, намотанным на образцах исследуемого магнитного материала.

Измерение ЭДС, пропорциональной магнитной индукции и намагничивающего тока, пропорционально магнитодвижущей силе намагничивающей обмотки, осуществляется с помощью либо показывающих приборов (амперметров и вольтметров) либо электронных осциллографов либо компенсаторов переменного тока.

Наиболее простым из индукционных методов является метод с использованием амперметра и вольтметра для определения магнитной проницаемости и потерь в образцах, основной динамической кривой намагничивания и динамических петель намагничивания. Недостатком этого метода является погрешность при перемагничивании материала до индукции свыше 1,2 Тл из-за отклонения формы кривой индукции от синуссидальной.

Наиболее точным из индукционных методов испытания магнитных материалов является компенсационный, основанный на измерении напряжений, пропорциональных индукций и напряженности магнитного поля с помощью компенсаторов переменного напряжения. С помощью этого метода определяется зависимости индукции от напряженности поля, потери на перемагничивание и т. д. Достоинствами способа являются полнота информации, высокая точность измерения, широкий диапазон измерения измеряемых величин. Недостатки заключаются в большой длительности процесса измерения, сложности и высокой стоимости аппаратуры.

Параметрический (мостовой) метод испытаний магнитных материалов, обеспечивающий высокую точность измерения в широком частотном диапазоне, заключается в определении индуктивности и сопротивления катушки с испытуемым образцом путем уравновешивания мостовой схемы изменением двух переменных параметров. Метод позволяет исследовать зависимости максимальной индукции от максимального значения напряженности поля, определять магнитную проницаемость, потери на перемагничивание и составляющие комплексного магнитного сопротивления. В основном мостовой метод предназначен для определения характеристик в слабых полях, когда

индукция в образце не превышает 80 % от индукции насыщения исследуемого материала.

Достоинствами данного метода являются высокая точность измерения, возможность определения практически всех характеристик, широкий частотный диапазон испытаний.

Наиболее удобным и наглядным методом исследования динамических характеристик магнитных материалов является индукционный с использованием осциллографа, суть которого заключается в измерении электрических напряжений, пропорциональных магнитной индукции и напряженности поля, с помощью электронно-лучевого осциллографа. Этот метод используется для измерения показателей и визуального наблюдения основной динамической кривой намагничивания, семейств динамических петель намагничивания, определения потерь на перемагничивание, дифференциальной магнитной проницаемости, абсолютной и относительной магнитных проницаемостей в диапазоне частот магнитного поля от 20 Гц до нескольких десятков кГц.

Основной недостаток этого метода заключается в сравнительно высокой погрешности используемого средства регистрации, составляющей несколько процентов.

Вышеперечисленные достоинства осциллографического метода измерения, обусловили его использование для исследования свойств магнитных материалов в лабораторной работе.

Рассмотрим более подробно суть этого метода.

Принципиальная электрическая схема установки для исследования магнитных материалов индукционным методом с использованием электронно-лучевого осциллографа приведена на рис. 3.21.

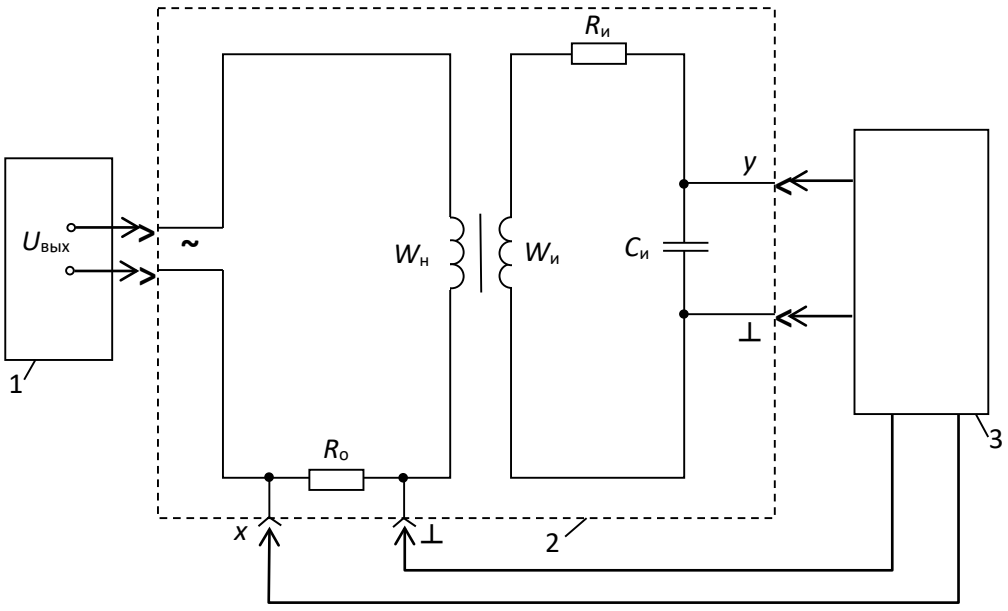


Рис. 3.21. Принципиальная электрическая схема установки:
1 – звуковой генератор; 2 – исследуемый образец; 3 - электронно-лучевой осциллограф

Для обеспечения необходимой точности измерений лучше всего применять образцы, в которых исключено влияние воздушных зазоров и рассеяния магнитного тока и в которых напряженность поля во всех точках образца практически одна и та же.

Чтобы выполнить данные требования, используются кольцевые (тороидальные) образцы и образцы в виде стержней с различным отношением длины к поперечному сечению.

Кольцевые образцы, намагничиваемые по замкнутому контуру, наиболее широко применяются для испытания магнитных материалов с максимальной напряженностью магнитного поля до 50 кА/м. Площадь сечения образца должна быть постоянной по всей длине. Разность между наибольшей и наименьшей площадями сечения допускается не более 1 %. Кольцевые образцы листовых и ленточных материалов изготавливают сборкой из штампованных и точеных колец или спиральной навивкой. Ферритовые образцы изготавливаются прессованием.

Внешний диаметр образца не должен превышать внутренний более чем в 1,3 раза. Это объясняется тем, что в кольцевых образцах с большим отношением внешнего диаметра к внутреннему наблюдается сильная неравномерность намагничивания, приводящая к значительным погрешностям при исследовании.

В работе исследуются образцы из различных магнитных материалов тороидальной формы, на каждом из которых намотано по две обмотки: намагничивающая $W_н$ и измерительная $W_и$.

Последовательно с намагничивающей обмоткой включено активное сопротивление $R_о$, а к зажимам измерительной обмотки подключена интегрирующая цепь, состоящая из пассивных элементов: активного сопротивления $R_и$ и конденсатора емкостью $C_и$.

При подаче на зажим «~» выходного напряжения звукового генератора $U_{вых}$ по намагничивающей обмотке образца начнет протекать намагничивающий ток $i_н$, который создает магнитодвижущую силу, вызывающую появление в образце магнитного поля.

Мгновенное значение магнитодвижущей силы F_t связано с мгновенным значением напряженности поля в любой точке образца H_t следующим соотношением:

$$F_t = i_н \cdot W_н = 2\pi \cdot r_{ср} \cdot H_t, \qquad (3.17)$$

где $i_н$ – мгновенное значение намагничивающего тока; $r_{ср}$ – средний радиус кольцевого образца, равный

$$r_{ср} = \frac{r_{вш} + r_{вн}}{2},$$

где $r_{вш}$ – внешний радиус сердечника образца; $r_{вш}$ – внутренний радиус сердечника образца.

Из уравнения (3.17) выразим H_t через намагничивающий ток. Получим:

$$H_t = \frac{i_н \cdot W_н}{2\pi \cdot r_{ср}}. \qquad (3.18)$$

Из выражения (3.18) видно, что мгновенное значение напряженности магнитного поля в любой точке образца прямопропорционально намагничивающему току $i_н$.

Таким образом, измерив значение намагничивающего тока и зная число витков намагничивающей обмотки и средний радиус образца, можно определить по уравнению (3.18) мгновенное значение напряженности магнитного поля.

Преобразовав выражение (3.18), получим уравнение для амплитудных значений напряженности поля и намагничивающего тока.

$$H_m = \frac{I_{mн} \cdot W_н}{2\pi \cdot r_{ср}}. \qquad (3.19)$$

Учитывая, что отклонение луча в электронно-лучевом осциллографе пропорционально значению напряжения, подаваемого на вход усилителя, возникает необходимость преобразования намагничивающего тока в напряжение. Это осуществляется последовательным включением с намагничивающей обмоткой эталонного активного сопротивления $R_о$ (рис. 3.21). При протекании тока $i_н$ по сопротивлению $R_о$, на последнем создается падение напряжения

$$U_x = R_о \cdot i_н.$$

Амплитудное значение этого напряжения

$$U_{mx} = R_о \cdot I_н. \qquad (3.20)$$

Подставив в уравнение (3.19) вместо тока $I_{mн}$ его выражение из (3.20), получим

$$H_m = \frac{W_н}{2\pi \cdot r_{ср} \cdot R_о} \cdot U_{mx}. \qquad (3.21)$$

Из уравнения (3.21) видно, что если на вход «*x*» падать напряжение U_{mx} с сопротивления $R_о$, то отклонение луча осциллографа по горизонтальной оси прямопропорционально напряженности магнитного поля в образце.

Магнитодвижущая сила тока $i_н$ создает в сердечнике образца магнитный поток, который наводит в измерительной наводке ЭДС

$$e = -W_и \cdot \frac{d\Phi_t}{dt} = -W_и \cdot S \cdot \frac{dB_t}{dt}. \quad (3.22)$$

где $W_и$ – число витков измерительной обмотки; Φ_t – мгновенное значение магнитного потока в сердечнике образца; S – площадь поперечного сечения сердечника образца; B_t – мгновенное значениемагнитной индукциив сердечнике образца.

Чтобы получить на экране осциллографа динамическую петлю намагничивания надо на вход «*y*» электронно-лучевого осциллографа подать напряжение, которое должно быть пропорционально магнитной индукции, создаваемой в образце. С этой целью измерительная обмотка образца подсоединяется по входу интегрирующей цепи с пассивными элементами $R_и$ и $C_и$ (рис. 3.21).

Тогда мгновенное значение тока, протекающего по интегрирующей цепи, определяется

$$i = \frac{e}{Z_и}. \quad (3.23)$$

Если выполнить условие $R_и >> x_{C_и}$, то можно считать, что ток в интегрирующей цепи является практически активным ($i=i_a$). Тогда напряжение на входе интегратора будет равно интегралу от ЭДС, наводимой в измерительной обмотке

$$U_{вых} = \frac{1}{C_и}\int_0^t i \cdot dt = \frac{1}{C_и}\int_0^t \frac{e}{R_и} \cdot dt \approx -\frac{W_и \cdot S}{R_и \cdot C_и} \cdot B_t. \quad (3.24)$$

Решив уравнение (3.24) относительно величины B_t получим

$$B_t = \frac{R_и \cdot C_и}{W_и \cdot S} \cdot U_{вых}, \quad (3.25)$$

где $R_и$ – активное сопротивление интегрирующей цепи; $C_и$ – емкость конденсатора этой цепи.

Из уравнения (3.25) видно, что индукция в образце пропорциональна выходному напряжению интегрирующей цепи.

Переходя к амплитудным значениям индукции и выходного напряжения интегрирующей цепи, получим

$$B_m = \frac{R_и \cdot C_и}{W_и \cdot S} \cdot U_{mвых}, \quad (3.26)$$

Подав напряжение с выхода интегратора $U_{m\text{вых}}$ на вход «*y*» и напряжение с сопротивления R_o на вход «*x*» осциллографа, на экране последнего получим динамическую петлю намагничивания.

Чтобы реакция измерительной цепи не влияла на форму динамической петли, желательно, чтобы магнитодвижущая сила тока измерительной обмотки была значительно меньше, чем магнитодвижущая сила тока намагниченной обмотки, т. е.

$$\frac{R_{\text{и}} \cdot C_{\text{и}}}{W_{\text{и}} \cdot S} \geq 0{,}001.$$

Для получения неискаженной формы динамической петли постоянная времени интегратора должна удовлетворять следующему требованию:

$$\tau_{\text{и}} = R_{\text{и}} \cdot C_{\text{и}} \geq (60 \div 100) \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f_{\min}}, \qquad (3.27)$$

где $f_{\min}$ – наименьшая частота переменного магнитного поля.

По активному сопротивлению $R_{\text{и}}$ и емкости конденсатора $C_{\text{и}}$, рассчитывается постоянная времени интегрирующей цепи $\tau_{\text{и}}$ по уравнению

$$\tau_{\text{и}} = R_{\text{и}} \cdot C_{\text{и}}. \qquad (3.28)$$

Затем определяется наименьшая частота магнитного поля, при которой выходное напряжение интегратора пропорционально магнитной индукции в образце:

$$f_{\min} = \frac{60}{2\pi \cdot \tau_{\text{и}}}. \qquad (3.29)$$

При частоте магнитного поля $f<f_{\min}$ исследовать образец нельзя из-за больших искажений формы динамической петли намагничивания, вызываемых интегрирующей цепью образца.

3.11. Объект исследования

Образцы ферромагнитных материалов тороидальной формы с двумя обмотками: намагничивающей и измерительной. Параметры образцов и обмоток приведены в таблицах, расположенных на корпусах образцов. Параметры образцов и обмоток записываются в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Данные исследуемого образца

Номер образца			Данные схемы					
с р е д	п о п	п д о	Число витков	о б р	Интегратор		н а	и

			намагничивающей обмотки, $W_н$	измерительной обмотки, $W_и$		активное сопротивление, $R_и$, Ом	емкость, $C_и$, Ф	постоянная времени, $\tau_и$, С	

3.12. Средства измерения и вспомогательные средства исследования

Осциллограф универсальный типа CI-73.

Звуковой генератор с регулируемым напряжением и частотой.

3.13. Подготовка осциллографа к работе

Перед включением осциллографа установить органы управления на передней панели в следующие положения:

- ручку «яркость» – в крайнее левое;
- ручку «фокус» – в среднее;
- переключатель «V/дел» – 0,01;
- ручку «усиление» - крайнее правое;
- ручку «↕» – в среднее;
- переключатель «~⊥≃» в «≃»;
- ручку «уровень» – в крайнее правое»
- ручку «↔» – в среднее.

Далее установить тумблер «разверт. X» на правой боковой панели в положение «⋑ X». Подключить осциллограф кабелем питания к сети 220 В и включить тумблер «питание» на передней панели осциллографа. При этом должна загореться сигнальная лампочка. В течение 2-3 минут прогреть осциллограф. Пока осциллограф прогревается, необходимо нанести координатную сетку осциллографа на листки кальки. После прогрева осциллографа установите ручкой «яркость» удобную яркость точки. Рукояткой «↕» установите точку на горизонтальную ось экрана осциллографа. Рукояткой «↔» установите точку точно по центру экрана.

В результате выполнения вышеперечисленных операций осциллограф подготовлен к выполнению экспериментальной части лабораторной работы.

3.14. Калибровка осциллографа и определение масштабов по напряженности и индукции магнитного поля

Для определения амплитудных значений индукции и напряженности магнитного поля образца по динамическим петлям необходимо определить чувствительность осциллографа по входам «*x*» и «*y*». Если при зарисовке динамических петель намагничивания ручка «усиление» находится в крайнем правом положении, то чувствительность осциллографа по оси «*y*» определяется по числу, против которого находилась риска переключателя «*V*/дел», если осциллограф был правильно откалиброван. Для проверки правильности калибровки необходимо переключатель «*V*/дел» установить в положение «5 дел». При правильной калибровке на экране осциллографа появятся две горизонтальные линии или две точки, смещенные на 5 клеток (делений) относительно друг друга.

Пример: при зарисовке динамических петель намагничивания ручка «усиление» находится в крайнем правом положении, а переключатель «*V*/дел» – против числа 0,02. При переключении переключателя «*V*/дел» в положение «5 дел» на экране появились две горизонтальные линии на расстоянии 5 клеток друг от друга.

В этом случае масштаб осциллографа по входу «н» составляет

$$m_{\text{в}} = 0{,}02 \ \text{В/дел.}$$

Масштаб $m_{\text{в}}$ необходимо записать в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Определение масштабов по напряженности и индукции магнитного поля

Измерено				Вычислено			
$n_{\text{в}}$	$m'_{\text{в}}$	n_r	U_r	$m_{\text{в}}$	m_r	$M_{\text{в}}$	$M_{\text{н}}$
дел.	В/дел.	дел.	В	В/дел.	В/дел.	Т\мм	А/м/мм

Если ручка «усиление» находилась в положении, отличном от крайнего правого, то расчет масштаба осуществляется следующим образом. Сохраняя ручку «усиление» в том же положении, что и при зарисовке динамических петель намагничивания, переключатель «*V*/дел» установить в положение «5 дел». Измерить расстояние по вертикальной оси между двумя горизонтальными линиями или точками $n_{\text{в}}$ и записать в таблицу 3.3. Тогда чувствительность осциллографа по оси «*y*» может быть рассчитана следующим образом:

$$m_{\text{в}} = \frac{m'_{\text{в}}}{n_{\text{в}}} \cdot 5, \qquad (3.30)$$

где $m'_{\text{в}}$ – чувствительность осциллографа, определенная числом напротив переключателя «*V*/дел» в рабочем положении; $n_{\text{в}}$ – расстояние между горизонтальными линиями в дел.

Результат расчета записывается в табл. 3.3.

При калибровке усилителя сигнала на оси «*x*» необходимо соединить гнездо «⊖ X», расположенное на правой боковой панели. С гнездом « ⊖⎍ 1V», расположенным на левой боковой панели. Определить расстояние между двумя вертикальными линиями n_r и записать в табл. 3.3. Напряжение, подаваемое на вход усилителя *x*, равно 1 В. Тогда чувствительность осциллографа по горизонтальной оси (оси «*x*») рассчитывается по уравнению

$$m_r = \frac{U_r}{n_r}. \qquad (3.31)$$

Рассчитанное значение m_r записывается в табл. 3.3.

По определенным масштабам $m_{\text{в}}$ и $m_{\text{н}}$ рассчитываются масштабы по индукции и напряженности магнитного поля $M_{\text{в}}$ и $M_{\text{н}}$ по уравнениям

$$M_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot R_{\text{и}} \cdot C_{\text{и}}}{6 \cdot W_{\text{и}} \cdot S}; \qquad (3.32)$$

$$M_{\text{н}} = \frac{m_r \cdot W_{\text{н}}}{6 \cdot R_{\text{о}} \cdot 2\pi \cdot r_{\text{ср}}}, \qquad (3.33)$$

где $r_{\text{ср}}$ – средний радиус сердечника, м; $R_{\text{о}}$ – образцовое сопротивление в цепи намагничивающей обмотки; $W_{\text{н}}$ – число витков намагничивающей обмотки; $W_{\text{и}}$ – число витков измерительной обмотки; $R_{\text{и}}$ – сопротивление интегрирующей цепи, Ом; $C_{\text{и}}$ – емкость интегрирующей цепи, ф; *S* – площадь поперечного сечения сердечника образца м^2.

Определенные масштабы $M_{\text{в}}$ и $M_{\text{н}}$ записываются в таблицу 3.3.

3.15. Подготовка звукового генератора к работе

Методика подготовки звукового генератора к работе, написана применительно к генератору Г3-53. При использовании генератора другого типа необходимо производить подготовку к работе согласно инструкции по эксплуатации или в соответствии с указанием преподавателя.

Перед включением звукового генератора необходимо установить органы управления на передней панели прибора в следующие положения:

- переключатель «поддиапазоны» – «Ок Hz»;

- рукоятку «частота Hz» – в положение при котором риска указателя частоты оказывается против цифры 0 на шкале частоты соответствующей поддиапазону 0 – 5 кГц;
- переключатель «пределы шкал, ослабление» – 3 в;
- рукоятка «регулировка выхода» – в положение, соответствующее значению выходного напряжения, равного нулю.

Затем следует подключить генератор кабелем питания к сети 220 В и включить переключатель «сеть». При этом должна загореться сигнальная лампа.

В течение 2 – 3 минут прогреть генератор. Если после прогрева вольтметр «напряжение выхода» покажет напряжение, отличное от нуля, необходимо плавным вращением рукоятки «уст. нуля» добиться нулевого показания вольтметра.

После выполнения вышеуказанных операций звуковой генератор подготовлен к работе.

3.16. Лабораторная работа №1. «Исследование свойств магнитных материалов в магнитных полях постоянной частоты». Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с индукционным методом измерения магнитных величин и экспериментальное определение свойств и характеристик ферромагнитных материалов при воздействии на них магнитного поля постоянной частоты с изменяющейся по амплитуде напряженностью.

3.17. Рабочее задание

Собрать схему установки (рис. 3.21).

Зарисовать с экрана осциллографа семейство динамических петель намагничивания, начиная с предельной динамической петли до минимально различимой (6 – 7 петель.)

Произвести калибровку осциллографа.

По данным калибровки рассчитать масштабы по напряженности и индукции магнитного поля.

Для каждой из динамических петель намагничивания определить амплитудные значения напряженности и магнитной индукции.

Для каждой из динамических петель намагничивания определить удельные потери на перемагничивание.

Определить для каждой динамической петли значение магнитной проницаемости.

Рассчитать по предельной динамической петле дифференциальную магнитную проницаемость при различных значениях напряженности поля в диапазоне изменения ее от 0 до H_m и обратно.

Построить зависимости $B_m=F(H_m)$, $\mu_r=(H_m)$, $\mu_{rg}=(H)$, $P=F(B_m)$.

Сделать выводы по работе.

3.18. Методические рекомендации к выполнению рабочего задания

3.18.1. Подготовка к проведению эксперимента

Перед началом выполнения лабораторной работы необходимо получить у лаборанта комплект соединительных проводов, осциллограф, звуковой генератор и исследуемый образец по указанию преподавателя.

Данные образца записать в табл. 3.2.

По известным параметрам интегрирующей цепи образца рассчитайте наименьшую частоту магнитного поля $f_{\min}$ в соответствии с уравнением (3.29) и запишите ее в таблицу 3.2.

Соберите схему установки (рис. 3.21).

При сборке схемы, в соответствии с рис. 3.21, гнезда «вход *y*» и «⊥» исследуемого образца соединить с гнездом « ⊖ УІМ Ω 35*pF*» тракта вертикального отклонения луча осциллографа, а гнезда «вход *x*» и «⊥» образца с гнездом « ⊖ *X*» осциллографа.

Произведите подготовку осциллографа к работе в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.13 данных методических указаний и звукового генератора (раздел 3.15).

3.18.2. Рекомендации по зарисовке семейства динамических петель намагничивания

Увеличивая выходное напряжение генератора, получите на экране осциллографа предельную динамическую петлю намагничивания. Предельной динамической петлей является наибольшая по площади динамическая петля, у которой появляются «усы», свидетельствующие о начале насыщения. Наложив кальку с нанесенной координатной сеткой, зарисуйте предельную динамическую петлю намагничивания.

Уменьшая выходное напряжение звукового генератора, зарисуйте на кальку семейство 6 – 7 динамических петель от предельной до минимально различимой петли намагничивания.

3.18.3. Калибровка осциллографа

Калибровка осциллографа осуществляется в соответствии с пунктом 3.14 данных методических указаний. При калибровке положение точки «усиление» должно быть таким же как и во время зарисовки динамических петель.

3.18.4. Определение амплитудных значений индукции, напряженности магнитного поля и потерь в сердечнике образца на перемагничивание

По имеющимся на кальках изображениям определяются для каждой динамической петли намагничивания координаты вершин H'_m и B'_m в миллиметрах. Значения H'_m и B'_m записываются в табл. 3.4. Пример определения координат H'_m и B'_m приведен на рис. 3.22.

Таблица 3.4

Определение амплитудных значений индукции, напряженности магнитного поля и потерь в сердечнике образца на перемагничивание

Номер опыта	Измерено				Вычислено			
	f	B'_m	H'_m	S_n	B_m	H_m	μ_r	P
	Гц	мм	мм	мм^2	Т	А/м	10^3	Вт/кг

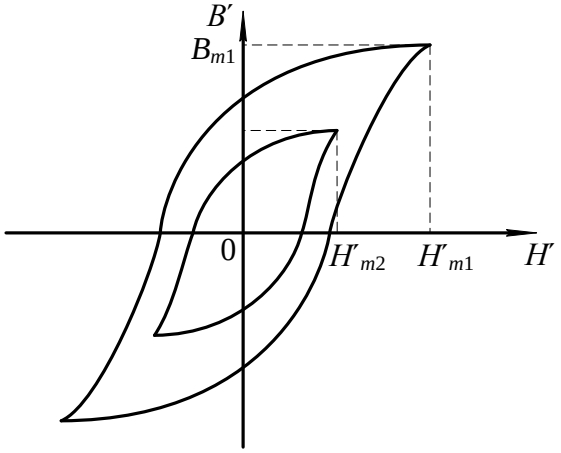


Рис. 3.22. Определение координат вершин динамических петель намагничивания

Амплитудные значения индукции и напряженности магнитного поля рассчитываются:

$$B_m = B'_m \cdot M_в . \qquad (3.34)$$

$$H_m = H'_m \cdot M_{\text{н}}. \qquad (3.35)$$

Для определения потерь на перемагничивание образца подсчитываются площади каждой из динамических петель намагничивания по клеткам миллиметровой бумаги, на которую накладывается калька с динамическими петлями намагничивания. Значения площадей записываются в табл. 3.4.

По найденным значениям B_m, H_m, S_n вычисляются значения относительной магнитной проницаемости и потери на перемагничивание для каждой петли

$$\mu_r = \frac{B_m}{\mu_{\text{о}} \cdot H_m}; \qquad (3.36)$$

$$P = \frac{S_n \cdot M_{\text{в}} \cdot M_{\text{н}}}{\gamma} \cdot f, \qquad (3.37)$$

где $\mu_{\text{о}}=1{,}256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная вакуума; f – частота намагничивающего потока, Гц; γ – плотность сердечника образца, кг/м^3.

Результаты расчетов записываются в табл.3.4.

3.18.5. Определение дифференциальной магнитной проницаемости

Определение дифференциальной магнитной проницаемости производится по предельной динамической петле намагничивания в следующем порядке. В интервале изменения H' от 0 до H'_m откладываются 6 – 7 значений H' (H'_0, H'_1, H'_2 … H'_m) на одинаковом расстоянии друг от друга. Затем в окрестности каждого значения H' задаются приращениями $\Delta H'$ так, чтобы эти значения Н′ находились посередине отрезка равного $\Delta H'$ (рис. 3.23).

Проведя из концов $\Delta H'$ линии, параллельные оси В до пересечения с восходящей и нисходящей ветвями предельной динамической петли намагничивания, определяем для каждого значения напряженности поля приращение индукции $\Delta B'_1$ и $\Delta B'_2$. $\Delta B'_1$ – приращение индукции, когда размагничивание осуществляется по нисходящей ветви при уменьшении напряженности поля от H'_m до 0.

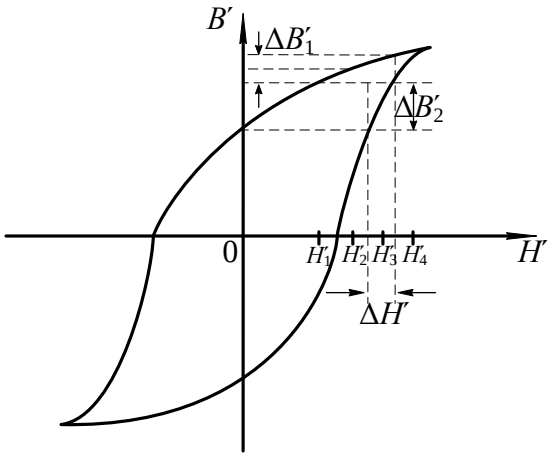


Рис. 3.23. К определению дифференциальной магнитной проницаемости

Значения напряженности $\Delta H'$, приращений $\Delta H'$, $\Delta B'_1$, $\Delta B'_2$ записываются в таблицу 3.5.

Таблица 3. 5

Определение дифференциальной магнитной проницаемости

H', мм	$\Delta H'$, мм	$\Delta B'_1$, мм	$\Delta B'_2$, мм	H, А/м	ΔH, А/м	ΔB_1, Тл	ΔB_2, Тл	μ'_{rg}	μ''_{rg}

Затем производится перерасчет значений напряженности H' по уравнению (3.35), а $\Delta H'$, $\Delta B'_1$, $\Delta B'_2$ по нижеследующим формулам

$$\Delta H = \Delta H' \cdot M_{\text{н}}, \tag{3.38}$$

$$\Delta B_1 = \Delta B_1^{'} \cdot M_{\text{в}}, \tag{3.39}$$

$$\Delta B_2 = \Delta B_2^{'} \cdot M_{\text{в}}. \tag{3.40}$$

Значения дифференциальной магнитной проницаемости рассчитывается по формулам

$$\mu_{rg}^{'} = \frac{\Delta B_1}{\mu_{\text{о}} \cdot \Delta H}, \tag{3.41}$$

$$\mu_{rg}^{''} = \frac{\Delta B_2}{\mu_{\text{о}} \cdot \Delta H}. \tag{3.42}$$

При построении зависимости $\mu_{rg}=F(H)$ по оси абсцисс откладываются значения напряженности Н, а по оси ординат соответствующие им значения μ'_{rg} и μ''_{rg}. В результате построения должен получится график, представленный на рис. 3.24.

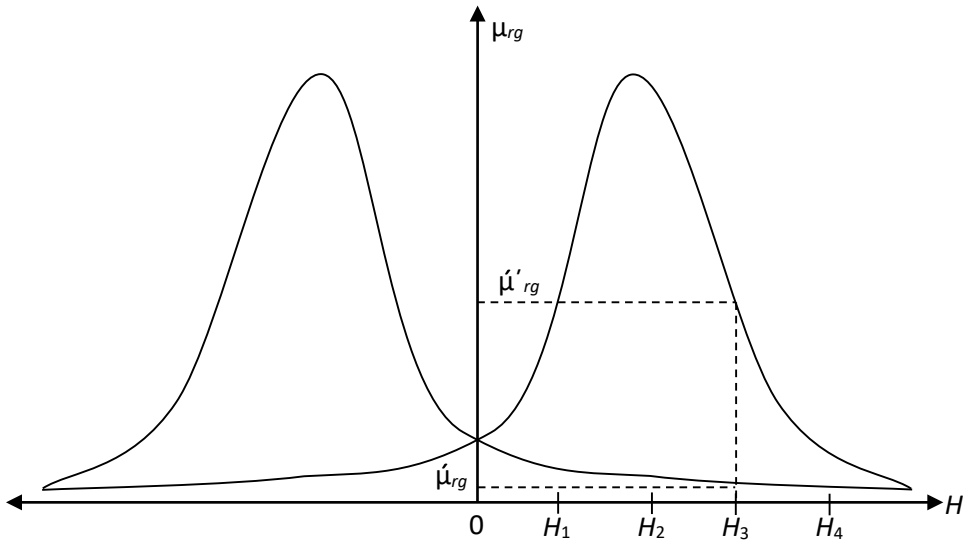


Рис. 3.25. Зависимость $\mu_{rg}=F(H)$

3.19. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен иметь следующее содержание:

1. Цель лабораторной работы.

2. Характеристика и основные параметры исследуемого образца.

3. Характеристики средства измерения и вспомогательных средств исследования.

4. Таблицы с записью результатов экспериментальных исследований и расчетов.

5. Основные расчетные формулы.

6. Зависимости магнитной индукции $B_m=F(H_m)$ и относительной магнитной проницаемости $\mu_r=F(H_m)$, дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_{rg}=F(H)$ от напряженности магнитного поля.

7. Зависимость потерь на перемагничивание от индукции в образце $P=F(B_m)$.

Зависимости магнитной индукции $B_m=F(H_m)$ и относительной магнитной проницаемости $\mu_r=F(H_m)$ необходимо строить в одной системе координат, откладывая по оси абсцисс значения H_m, а по оси ординат значения B_m и μ_r, в выбранных для каждой из этих величин масштабах.

Отчет заканчивается выводами, в которых в краткой форме должны быть описаны характеры полученных экспериментально зависимостей и дано их теоретическое обоснование.

3.20. Вопросы для самоконтроля

1. Как зависит относительная магнитная проницаемость от напряженности магнитного поля?
2. Чем объяснить, что сначала магнитная проницаемость возрастает с ростом напряженности, а затем уменьшается при дальнейшем возрастании последней?
3. Как изменяется магнитная индукция в образце с ростом напряженности намагничивающего поля?
4. На чем основан принцип действия лабораторной установки?
5. Какими параметрами установки ограничивается наименьшая частота намагничивающего тока?
6. Определите наименьшую частоту магнитного поля, при которой можно исследовать образец.

7. Как зависят потери на перемагничивание от магнитной индукции, создаваемой в образце?
8. Какие причины обуславливают рост потерь на перемагничивание с ростом магнитной индукции?
9. Объясните, как осуществляется намагничивание ферромагнетиков на различных участках основной кривой намагничивания?
10. В какой точке основной кривой намагничивания относительная магнитная проницаемость максимальна?
11. Каким основным условиям должно удовлетворять вещество, являющееся ферромагнетиком?
12. Какой из видов элементарного движения электрических зарядов создает основной магнитный момент в атоме?
13. Какое явление называется магнитной анизотропией?
14. Какое явление называется магнитострикцией?
15. Почему ферромагнетик самопроизвольно делится на отдельные области, домены?
16. Какая область ферромагнетика называется доменом?
17. Как и где происходит изменение направления намагниченности между доменами?

3.21. Лабораторная работа №2. «Исследование свойств магнитных материалов в магнитных полях переменной частоты». Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с индукционным методом измерения магнитных величин и экспериментальное определение свойств и характеристик магнитных материалов при воздействии на них магнитного поля переменной частоты.

3.22. Рабочее задание

Рассчитать для полученного образца постоянную времени интегрирующей цепочки $\tau_и$ и минимальную частоту магнитного поля, при которой его можно исследовать.

Собрать схему установки (рис. 3.21).

Зарисовать с экрана осциллографа семейство динамических петель намагничивания при различных частотах намагничивающего тока, поддерживая неизменной магнитную индукцию B_m=const.

Зарисовать семейство динамических петель намагничивания при различных частотах намагничивающего тока, поддерживая неизменной напряженность магнитного поля H_m=const.

Произвести калибровку осциллографа.

По данным калибровки рассчитать масштаб по напряженности и индукции магнитного поля.

Для каждой из динамических петель намагничивания рассчитать амплитудные значения напряженности и магнитной индукции.

Для каждой из динамических петель намагничивания определить потери на перемагничивание образца.

Рассчитать для каждой динамической петли значение относительной магнитной проницаемости.

Построить зависимости $\mu_r=F(f)$, $P=F(f)$ для обоих семейств динамических петель намагничивания.

Сделать выводы по работе.

3.23. Методические указания к выполнению рабочего задания

3.23.1. Подготовка к проведению эксперимента.

Подготовка к проведению эксперимента осуществляется в соответствии с пунктом 3.18.1.

3.23.2. Рекомендации по зарисовке семейств динамических петель намагничивания.

Перед началом экспериментальных исследований выбирается диапазон частот магнитного поля в пределах от f_{min} до f_{max}, который задается преподавателем.

Зарисовка динамических петель намагничивания при различных частотах магнитного поля с неизменной магнитной индукцией в образце B_m=const производится в следующем порядке. Необходимо установить на генераторе частоту $f=f_{max}$. Увеличивая выходное напряжение генератора добиться, чтобы динамическая петля намагничивания касалась двух горизонтальных линий, отстоящих друг от друга на расстоянии 5 клеток (рис. 3.26) и зарисовать на кальку.

Затем уменьшить частоту генератора на Δf. При этом амплитуда B_m возрастает. Уменьшая выходное напряжение генератора, восстановить прежнее значение индукции B_m в образце и снова зарисовать динамическую петлю намагничивания. В диапазоне изменения частоты генератора от f_{max} до f_{min}

необходимо зарисовать шесть – семь петель, сохраняя индукцию в образце неизменной при каждой частоте.

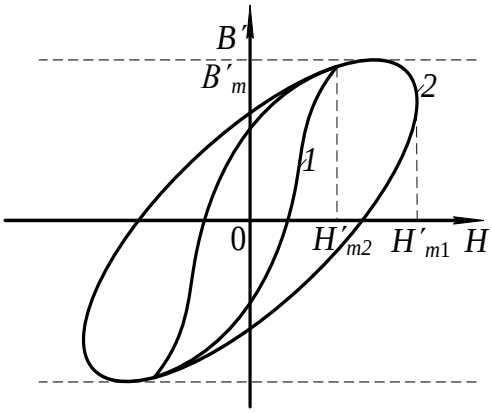


Рис. 3.26. Свойство динамических петель намагничивания с постоянной магнитной индукцией и различной частотой магнитного поля

Зарисовка семейства динамических петель намагничивания на различных частотах магнитного поля при постоянной напряженности магнитного поля в образце производится следующим образом. Частота звукового генератора устанавливается равной $f_{\min}$. Увеличивая выходное напряжение генератора добиваются максимальной по размеру экрана магнитной индукции B_m. Через вершины петель паралельно оси B_m проводятся две вертикальные линии на кальке. Затем увеличивают частоту генератора до следующего значения. При этом ширина динамической петли или H_m уменьшится. Увеличивая выходное напряжение генератора, добиваются, чтобы динамическая петля касалась линий, проведенных параллельно оси B_m и зарисовывают петлю на кальку (см. рис. 3.27).

Изменяя частоту генератора в диапазоне от $f_{\min}$ до $f_{\max}$ зарисовывают 6 – 7 динамических петель намагничивания на различных частотах, сохраняя H_m=const по вышеприведенной методике.

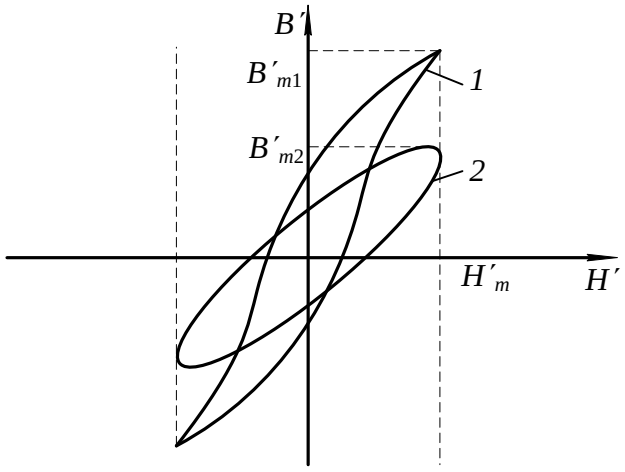


Рис. 3.27. Семейство динамических петель намагничивания при H_m=const

3.23.2. Рекомендации по зарисовке семейств динамических петель намагничивания.

Определение амплитудных значений индукции и напряженности магнитного поля потерь в сердечнике, значений относительной магнитной проницаемости для вершин каждой из зарисованных динамических петель намагничивания производится в соответствии с методикой, изложенной в пункте 3.18.4 данных методических указаний.

3.24. Содержание отчета

Содержание отчета по данной лабораторной работе должно отличаться от содержания отчета по лабораторной работе 1 (см. 3.19) полученными экспериментально зависимостями.

В этой работе определяются и строятся графики зависимостей $\mu_r=F(f)$, $P=F(f)$, когда B_m=const, и эти же зависимости, когда H_m=const. Необходимо строить зависимости $\mu_r=F(f)$ при B_m=const и $\mu_r=F(f)$ при H_m=const в одной системе координат откладывая по оси абсцисс значения H_m, а по оси ординат – значения μ_r.

Аналогично, в одной системе координат строятся зависимости $P=F(f)$ для обоих режимов испытания образца.

3.25. Вопросы для самоконтроля

1. Чем отличается динамическая петля намагничивания от петли гистерезиса?
2. Какие виды потерь существуют при перемагничивании ферромагнетика в переменном магнитном поле?
3. От каких параметров намагничивающего поля и как зависят потери на гистерезис?
4. От каких параметров намагничивающего поля и как зависят потери на вихревые токи?
5. Объясните суть явления вытеснения магнитного поля.
6. К каким последствиям приводит явление вытеснения магнитного поля?
7. Почему с ростом частоты уменьшается индукция, если B_m=const?
8. Почему с ростом частоты уменьшается магнитная индукция, если H_m=const?
9. Как и почему изменяются потери на перемагничивание с ростом частоты при B_m=const?

10. Как и почему изменяются потери на перемагничивание с ростом частоты при H_m=const?
11. Почему в одном и том же диапазоне изменения частоты относительная магнитная проницаемость изменяется в больших пределах, когда, как и почему изменяются потери на перемагничивание с ростом частоты при B_m=const, а не при H_m=const?
12. Почему в одном и том же диапазоне изменения частоты потери на перемагничивание ферромагнетика изменяются в больших пределах при B_m=const, а не при H_m=const?

Часть 4
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1. «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗОЛЯЦИИ ДВУХЖИЛЬНОГО КАБЕЛЯ»

4.1. Требование к оформлению контрольной работы

Контрольная работа состоит из двадцати вариантов с нумерацией вариантов от 0 до 19.

Номер варианта задачи, решаемой студентов в контрольной работе, определяется суммой двух последних цифр шифра студента. Например, если номер шифра студента 4298, то номер варианта задачи – 17.

К оформлению контрольной работы предъявляются следующие требования:

1. Контрольная работа выполняется в тетради, на обложке которой должны быть указаны фамилия, имя, отчество студента, учебный шифр, наименование дисциплины и домашний адрес.

2. Условия задачи переписываются полностью, без сокращений.

3. Текстовая часть, формулы, числовые выкладки должны быть выполнены чернилами без помарок и исправлений.

4. Графическая часть работы выполняется в карандаше с помощью чертёжных инструментов.

5. Электрические схемы вычерчиваются с соблюдением установленных стандартом условных обозначений.

6. Ответы на вопросы должны быть аргументированы теоретически с использованием в необходимом объёме рисунков, графиков.

7. В конце работы необходимо привести список использованной при выполнении контрольной работы литературы.

8. После списка литературы необходимо проставить дату выполнения работы и подпись.

4.2. Задание на контрольную работу

Питание электротехнической установки осуществляется с помощью кабельной линии длиной l. Кабель со свинцовой оболочкой имеет две токопроводящие жилы радиусом R (Рис.1). В качестве электрической изоляции жил друг от друга и жил от оболочки использована кабельная бумага. В пористой структуре диэлектрика имеются капилляры, заполненные воздухом. К жилам кабеля приложено переменное напряжение, действующее значение которого U, частотой f . При расчёте считать, что электрическое поле внутри кабеля однородно.

Требуется определить:

1) ёмкость между жилами кабеля, $C_к$;
2) сопротивление изоляции между жилами кабеля, $Z_{из}$;
3) значение тока утечки между жилами кабеля, $I_у$;
4) диэлектрические потери в изоляции кабеля, P;
5) пробивное напряжение изоляции между жилами кабеля, $U_{пр}$;
6) ёмкость $C_{кп}$, сопротивление изоляции $Z_{изп}$ и ток утечки $I_{уп}$ диэлектрические потери $P_п$, пробивное напряжение $U_{прп}$ при условии, что оболочка кабеля заполнена газообразным либо жидким диэлектриком. При расчёте принять, что поры и капилляры полностью заполнены этим диэлектриком;
7) после расчёта составить таблицу сравнительных данных кабелей без пропитки и с пропиткой и произвести анализ влияния пропитки изоляции кабеля на его электрические свойства;
8) определить соответствие изоляционных свойств электрической изоляции кабеля требованиям правил установки электропотребителей (ПУЭ);

Геометрические размеры кабеля и электрические параметры диэлектриков, использованных в качестве изоляции, приведены в таблице 4.1.

Вопросы к контрольной работе

1. Дайте расшифровку цифр, используемых в обозначениях марок электрических сталей.
2. На основной кривой намагничивания укажите участки, на которых намагничивание осуществляется за счёт роста доменов. В чём отличие процессов намагничивания на этих участках?
3. Как влияют на магнитные свойства материалов вихревые токи. В каких магнитных полях возникают эти токи?

Таблица 4.1

Исходные данные для решения контрольной работы

Номер варианта	Длинна линии l	Радиус жилы, R	Расстояние между жилами, S	Рабочее напряжение, U	Частота, f	Плотность		Относительная диэлектрическая проницаемость			Тангенс угла диэлектрических потерь			Электрическая прочность		
						Целлюлозы, D_1	Бумаги, D	Целлюлозы, ε_{21}	Воздуха, ε_{22}	Пропитки, ε_{23}	Целлюлозы, $tg\delta_1$	Воздуха, $tg\delta_2$	Пропитки, $tg\delta_3$	Целлюлозы, $E_{пр1}$	Воздуха, $E_{пр2}$	Пропитки, $E_{пр3}$
	м	мм	мм	В	Гц	кг/м^3	кг/м^3				10^{-4}	10^{-6}	10^{-3}	кВ/мм	кВ/мм	кВ/мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	120	1,38	7,5	220	50	1550	780	6,6	1,00059	2,1	65,0	4,0	3,0	15,0	3,2	20,0
1	50	1,78	8,3	380	50	1550	850	6,6	1,00059	2,7	65,0	4,0	10,0	15,0	3,2	60,0

2	1000	2,25	12,24	2200	50	1550	1100	6,6	1,00059	4,5	65,0	4,0	25,0	15,0	3,2	50,0
3	800	2,82	13,58	1100	50	1550	1090	6,6	1,00059	4,1	65,0	4,0	15,0	15,0	3,2	55,0
4	150	3,34	17,92	6600	50	1550	780	6,6	1,00059	2,8	65,0	4,0	0,2	15,0	3,2	43,0
5	1500	3,99	19,42	3300	50	1550	770	6,6	1,00059	5,2	65,0	4,0	30,0	15,0	3,2	35,0
6	3000	4,72	14,18	6600	50	1550	900	6,6	1,00059	4,8	65,0	4,0	5,0	15,0	3,2	20,0

Окончание табл. 4.1

Номер варианта	Длинна линии l	Радиус жилы, R	Расстояние между жилами, S	Рабочее напряжение, U	Частота, f	Плотность		Относительная диэлектрическая проницаемость			Тангенс угла диэлектрических потерь			Электрическая прочность		
						Целлюлозы, D_1	Бумаги, D	Целлюлозы, ε_{21}	Воздуха, ε_{22}	Пропитки, ε_{23}	Целлюлозы, $tg\delta_1$	Воздуха, $tg\delta_2$	Пропитки, $tg\delta_3$	Целлюлозы, $E_{пр1}$	Воздуха, $E_{пр2}$	Пропитки, $E_{пр3}$
	м	мм	мм	В	Гц	кг/м^3	кг/м^3				10^{-4}	10^{-6}	10^{-3}	кВ/мм	кВ/мм	кВ/мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	500	5,5	15,74	380	50	1550	970	6,6	1,00059	2,4	65,0	4,0	3,0	15,0	3,2	18,0
8	250	6,18	19,5	2200	50	1550	800	6,6	1,00059	1,01	65,0	4,0	4,0	15,0	3,2	20,0
9	2000	6,91	20,76	1100	50	1550	1100	6,6	1,00059	3,8	65,0	4,0	0,2	15,0	3,2	45,0
10	200	7,68	24,8	3300	50	1550	1100	6,6	1,00059	2,1	65,0	4,0	3,0	15,0	3,2	20,0
11	4000	8,74	27,3	6600	50	1550	850	6,6	1,00059	2,3	65,0	4,0	1,0	15,0	3,2	18,0
12	3500	1,38	11,2	1100	50	1550	780	6,6	1,00059	5,0	65,0	4,0	20,0	15,0	3,2	42,0
13	1600	1,78	11,2	2200	50	1550	900	6,6	1,00059	4,4	65,0	4,0	5,0	15,0	3,2	45,0
14	600	7,68	20,1	220	50	1550	770	6,6	1,00059	2,8	65,0	4,0	0,2	15,0	3,2	24,0
15	800	8,74	22,2	660	50	1550	970	6,6	1,00059	4,8	65,0	4,0	8,0	15,0	3,2	25,0
16	300	2,25	16,14	3300	50	1550	1090	6,6	1,00059	2,7	65,0	4,0	10,0	15,0	3,2	25,0
17	1400	3,34	17,92	6600	50	1550	780	6,6	1,00059	1,019	65,0	4,0	0,2	15,0	3,2	50,0
18	700	6,18	17,1	660	50	1550	780	6,6	1,00059	3,8	65,0	4,0	20,0	15,0	3,2	32,0

4.3. Методические указания к выполнению контрольной работы

Кабельная бумага представляет собой механическую смесь целлюлозы и воздуха с неодинаковой относительной диэлектрической проницаемостью. Определение относительной диэлектрической проницаемости такого диэлектрика производится в соответствии с уравнением Лихтенеккера для последовательного расположения компонентов. В связи с тем, что при использовании этого уравнения необходимо знать объёмные концентрации компонентов, расчёт следует начать с

определения последних по заданным значениям плотности целлюлозы и кабельной бумаги в соответствии с уравнениями

$$\theta_1 = \frac{D}{D_1}\ ; \tag{4.1}$$

$$\theta_2 = 1 - \frac{D}{D_1}, \tag{4.2}$$

где θ_1 – объёмная концентрация целлюлозы; θ_2 – объёмная концентрация воздуха; D – плотность кабельной бумаги, кг/м^3; D_1 – плотность целлюлозы, кг/м^3.

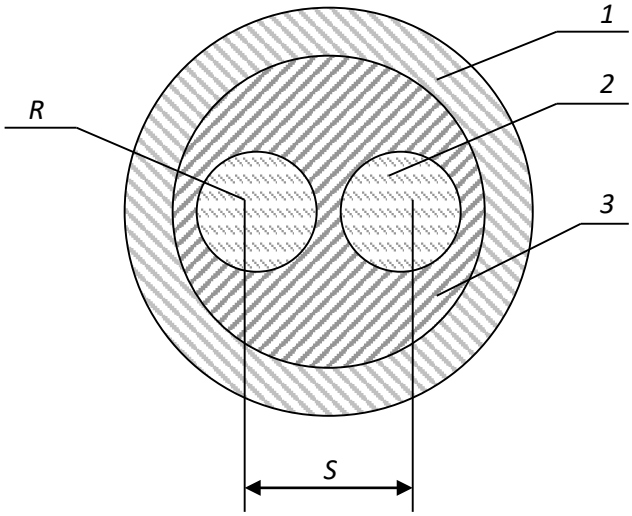


Рис. 4.1. Сечение двужильного кабеля
1- оплётка кабеля; 2- жила кабеля; 3- изоляция кабеля

По вычисленному значению относительной диэлектрической проницаемости непропитанной кабельной бумаги и заданным геометрическим размерам кабеля рассчитывается ёмкость кабельной линии.

Для двухжильного кабеля ёмкость между жилами может быть определена из уравнения:

$$C_k = \xi_r \cdot \xi_0 \times \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\ln K^2}, \tag{4.3}$$

где

$$K = \frac{a + x - R}{a + R - x};$$

$$x = \frac{S}{2};$$

$$a = \sqrt{(\frac{S}{2})^2 - R^2}\ ;$$

S – расстояние между центрами жил кабеля, м; R – радиус жил кабеля, м; l – длинна кабельной линии, м.

Тангенс угла диэлектрических потерь кабельной бумаги вычисляются по заданным значениям тангенсов углов диэлектрических потерь целлюлозы и воздуха по формуле

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{\mathrm{tg}\delta_1}{1+\dfrac{\theta_2 \cdot \xi_{r1}}{(1-\theta_2)\cdot \xi_{r2}}} + \frac{\mathrm{tg}\delta_2}{1+\dfrac{(1-\theta_2)\cdot \xi_{r2}}{\theta_2 \cdot \xi_{r1}}}. \quad (4.4)$$

Удельная активная (γ_a) и удельная реактивная (γ_p) проводимости изоляции в переменном электрическом поле с частотой f вычисляются по формулам, приведённым в основных учебных пособиях.

Удельная полная проводимость изоляции кабеля связана с удельными активной и реактивной проводимостями соотношением

$$\gamma_{из} = \sqrt{\gamma_a^2 + \gamma_p^2} \quad (4.5)$$

Полная проводимость $Y_{из}$ изоляции кабеля определяется по удельной проводимости $\gamma_{из}$ и геометрическим размерам кабеля

$$Y_{из} = \gamma_{из} \cdot \frac{2\pi \cdot l}{\ln K^2} \quad (4.6)$$

Ток утечки кабеля, возникающий под воздействием приложенного напряжения, сопротивление изоляции между жилами в двухжильных кабелях рассчитываются на основании соотношений

$$I_y = U \cdot Y_{из}; \quad (4.7)$$

$$Z_{из} = \frac{1}{Y_{из}}. \quad (4.8)$$

Диэлектрические потери в изоляции кабеля P находятся по действующему значению приложенного переменного напряжения, ёмкости кабельной лини, тангенсу угла диэлектрических потерь и частоте питающей сети

$$P = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_k \cdot \mathrm{tg}\delta, \quad (4.9)$$

где U – рабочее напряжение кабельной линии, В; f – частота, Гц; C_k – ёмкость кабельной линии, Ф; tgδ – тангенс угла диэлектрических потерь; P – диэлектрические потери, Вт.

Для упрощения расчёта величины пробивного напряжения делаем допущение, что электрическое поле внутри кабеля однородное, то есть напряженность поля в любой его точке одинакова. Тогда электрическая прочность кабельной бумаги может быть получена по заданным значениям электрической прочности компонентов (целлюлозы и воздуха) из следующего уравнения

$$E_{\text{пр}} = \frac{E_{\text{пр1}} \cdot E_{\text{пр2}}}{E_{\text{пр1}} + E_{\text{пр2}} \cdot (1 - \frac{\xi_{r2}}{\xi_{r1}})}. \quad (4.10)$$

Пробивное напряжение изоляции:

$$U_{\text{пр}} = E_{\text{пр}} \cdot h_{\text{из}}, \quad (4.11)$$

где $h_{\text{из}}$ – минимальная толщина изоляции, мм.

Минимальная толщина изоляции между жилами кабеля для двухжильного кабеля определяется из уравнения

$$h_{\text{из}} = S - 2R \quad (4.12)$$

Вычислив электрические параметры линии, в кабеле которой в качестве изоляции использована непропитанная кабельная бумага, следует произвести расчёт параметров этой линии при условии, что оболочка кабеля заполнена вместо воздуха либо газообразным диэлектриком, либо жидким изоляционным материалом. При этом считаем, что в порах капиллярах воздух полностью замещается этими диэлектриками.

Последовательность расчёта остаётся той же, что для непропитанной кабельной бумаги. В уравнениях (4.2), (4.4) и (4.10) необходимо вместо электрических параметров воздуха подставлять аналогичные параметры замещающего воздух другого диэлектрика согласно условию задачи. При записи расчётного уравнения необходимо индекс 2, обозначающий, что это параметр воздуха, изменить на индекс 3.

Например, при определении $\text{tg}\delta_n$ пропитанной жидким диэлектриком кабельной бумаги уравнение (4.4) нужно записать в следующем виде:

$$\text{tg}\delta_{\text{п}} = \frac{\text{tg}\delta_q}{1 + \frac{\theta_3 \cdot \xi_{r1}}{(1-\theta_3) \cdot \xi_{r2}}} + \frac{\text{tg}\delta_3}{1 + \frac{(1-\theta_3) \cdot \xi_{r3}}{\theta_3 \cdot \xi_{r1}}}.$$

При расчёте следует полагать, что объёмные концентрации целлюлозы и заменяющего воздух другого газообразного или жидкого диэлектрика остались такими же, как целлюлозы и воздуха, то есть

$$\theta_3 = \theta_2.$$

После окончания расчёта следует *обязательно* проанализировать, как влияет на электрические параметры кабельной линии пропитка её изоляции жидким диэлектриком. Для удобства анализа необходимо составить таблицу расчётных значений электрических параметров кабельной линии дои после пропитки. Образец такой таблицы представлен ниже.

Таблица 4.2

Таблица сравнительных данных кабельной линии

Обозначение параметра	$\xi_г$	C_k, Ф	$X_{из}$, См/м	$Z_{из}$, Ом	$Y_{из}$, См	P, Вт	$U_{пр}$, кВ
Кабель без пропитки							
Кабель с пропиткой							

При анализе необходимо указывать, как влияет пропитка изоляции на значение каждого из рассчитанных параметров с использованием теоретических сведений.

В конце анализа необходимо сделать вывод о соответствии изоляции пропитанного и непропитанного кабелей требованиям, предъявляемых к кабельной линии правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

В соответствии с этими требованиями кабельные линии с рабочим напряжением до 1000 В должны обладать сопротивлением изоляции $R_{из}$>0,5 МОм при прозвонке их мегаомметром на напряжение 2,5 кВ.

Изоляция кабельных линий с рабочим напряжением более 1 кВ должна выдерживать воздействия постоянных напряжений, значение которых приводятся в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Испытательное напряжение выпрямленного тока для силовых кабелей

Изоляция	Напряжение, кВ, для кабелей на рабочее напряжение, кВ								Продолжительность
	2	3	6	10	20	35	110	220	
Бумажная	12	18	36	60	100	175	300	450	

Для установления соответствия изоляции кабельных линий с рабочим напряжением до 1 кВ требованиям ПУЭ необходимо рассчитать сопротивление изоляции $R_{из}$ постоянному току. Расчёт $R_{из}$ осуществляется по активной удельной проводимости в соответствии с уравнениями

$$g_{из} = \gamma_а \cdot \frac{2\pi \cdot l}{\ln K^2}; \quad (4.13)$$

$$R_{из} = \frac{1}{g_{из}}, \quad (4.14)$$

где $g_{из}$ – активная проводимость кабельной линии, См; $\gamma_а$ – удельная активная проводимость кабельной линии, См/м; $R_{из}$ – сопротивление изоляции постоянному току, Ом.

Если рассчитанное значение сопротивления изоляции $R_{из}$ больше 0,5 мОм, то кабельная линия удовлетворяет требованиям ПУЭ.

Для кабельных линий с рабочим напряжением свыше 1000В проверка изоляции на соответствие требованиям ПУЭ производится путём сравнения

рассчитанного пробивного напряжения с $U_{пр}$ с испытательным напряжением, приведённым в табл. 4.3.

4.4. Экзаменационные вопросы

1. Понятия об электротехнических материалах. Классификация (определения).
2. Диэлектрики. Основные понятия. Определения. Классификация.
3. Понятия поляризации. Механизм поляризации.
4. Виды поляризации. Электронная поляризация.
5. Виды поляризации. Ионная поляризация.
6. Виды поляризации. Спонтанная (остаточная) поляризация.
7. Обобщенная схема замещения диэлектрика.
8. Относительная диэлектрическая проницаемость газообразных диэлектриков.
9. Относительная диэлектрическая проницаемость твердых диэлектриков
10. Относительная диэлектрическая проницаемость сложных диэлектриков. Уравнение Лихтеннекера.
11. Понятия об электропроводности диэлектриков. Электропроводность твердых диэлектриков. Объемное и поверхностное удельные сопротивления диэлектриков.
12. Диэлектрические потери. Основные понятия. Схемы замещения. Виды диэлектрических потерь.
13. Понятие пробоя диэлектриков. Электрический пробой газообразных диэлектриков.
14. Понятие электрического пробоя диэлектриков. Электротепловой пробой.
15. Механические, физические и тепловые свойства диэлектриков.
16. Электроизоляционные материалы. Газообразные, жидкие твердые и твердеющие изоляционные материалы.
17. Физика магнетизма. Условия возникновения ферромагнетизма.
18. Основные характеристики магнитных веществ.
19. Строение ферромагнетиков.
20. Явление магнитной анизотропии и магнитострикции.
21. Намагничивание ферромагнетиков.
22. Свойства ферромагнетиков в квазипостоянных магнитных полях.
23. Динамическая петля намагничивания.
24. Эффект вытеснения магнитного поля диэлектрика в переменном магнитном поле.
25. Потери мощности на перемагничивание ферромагнетиков в переменном магнитном поле.
26. Магнитные материалы. Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы.
27. Исследование ферромагнетика в переменном магнитном поле.

28. Полупроводники. Основные понятия. Классификация.
29. Электропроводность полупроводников.
30. Электронно-дырочный переход полупроводников.
31. Проводники. Классификация. Основные понятия.
32. Удельное сопротивление проводников. Температурный коэффициент удельного сопротивления.
33. ТермоЭДС. Температурный коэффициент линейного расширения металлических проводников.
34. Основы конструкционного и электротехнического материаловедение.
35. Агрегатные состояния и дефекты строения материалов.
36. Термическая обработка.
37. Металлы и сплавы.
38. Искусственные и синтетические материалы.
39. Классификация материалов.
40. Технологии получения материалов.

Учебно-методические материалы

Основная литература

Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. Электротехнические материалы. 7-е издание. Л.: Энергоатомиздат, 1985. 304 с.

Угольников А. В. Электротехническое и конструкционное материаловедение. Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2015. 147 с.

Хахин Ю. М. Электротехническое материаловедение. Екатеринбург, Изд. УГГГА, 1995. 100 с.

Дополнительная литература

Справочник по электрическим материалам / под ред. Ю. В. Корицкого 2-е изд. М.: Энергия, том 1, 1974. 583 с.; том 2, 1974. 615 с; том 3, 1976. 896 с.

Агеева Н. Д., Винаковская Н. Г, Лифанов В. Н. Электротехническое материаловедение, Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. 76 с.

Дудкин А. Н. Ким В. С. Электротехническое материаловедение. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. 216 с.

Журавлева Л. В. Электроматериаловедение, М ПрофОбрИздат, 2001. 312 с.

Попов В. С. Теоретическая электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1990.

Розенблат М. А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. М.: Наука, 1966. 720с.

Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергия, 1982. 320 с.

Штофа Ян. Электротехнические материалы в вопросах и ответах. М.: Энергоатомиздат, 1984. 200 с.

Электротехнические и конструкционные материалы. В. Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В. М. Матюгин и др. М: Издательский центр «Академия», 2005. 280 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация

Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы – закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса:

для овладения знаниями:

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям:

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

– рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям:

для овладения знаниями:

– изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
– изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– составление плана проведения эксперимента;
– составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
– аналитическая обработка результатов экспериментов.

для формирования навыков и умений:

– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе:

для овладения знаниями:

– чтение основной и дополнительной литературы;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– работа с конспектом лекций;
– ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

– решение задач по образцу и вариативных задач;
– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы.

Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией – это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений рассматриваемых проблем, публичного выступления, позиционирования себя перед коллективом, навыки работы с библиографическими источниками и оформления научных текстов.

В ходе подготовки к докладу с презентацией обучающемуся необходимо:

- выбрать тему и определить цель выступления;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя:

для овладения знаниями:

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) – форма контроля для демонстрации обучающимся умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту):

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

– работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
– изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
– подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

– решение задач по образцу и вариативных задач;
– выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
– оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест – это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

– проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
– выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
– приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов, выбрать правильные (их может быть несколько), на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам.

В процессе выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

Теоретический вопрос – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

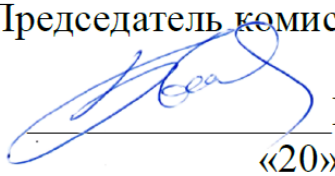
При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ККОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«ФИЗИКА ЗЕМЛИ»

Специальность:
21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
1. Задания контрольной работы
2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
   2.1 Оформление контрольной работы
   2.2 Критерии оценки контрольной работы
3. Методические рекомендации по составлению глоссария
4. Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Введение

Данные методические указания разработаны в помощь для выполнения контрольной работы по курсу «Физика Земли».

В методических рекомендациях содержится: перечень вопросов контрольной работы, методические рекомендации по выполнению контрольной работы, перечень рекомендуемых учебных изданий, интернет-ресурсов, дополнительной литературы.

Внимательно прочитайте задание контрольной работы, подготовьте рекомендуемую вам литературу (при необходимости), ознакомьтесь с рекомендациями по выполнению работы, с критериями оценивания работы.

Прежде чем сдать выполненную контрольную работу преподавателю на проверку, выполните самооценку по заданным критериям.

Контрольная работа является обязательной для каждого обучающегося и определяется учебным планом. Наличие положительной оценки по контрольной работе необходимо для получения промежуточной аттестации по дисциплине «Физика Земли».

1. Задания для контрольной работы

Вариант 1

Дайте определения следующим понятиям: сила тяжести, сила тяготения, ускорение силы тяжести, гравитационный потенциал. Укажите на отличительные особенности силы тяжести и силы тяготения.

Вариант 2

Для исследования внутреннего строения Земли используют различные методы. Перечислите эти методы и дайте им сравнительную характеристику.

Вариант 3

Опишите сущность радиоизотопного метода определения абсолютного возраста горных пород?

Вариант 4

Земной магнетизм обусловлен действием постоянных источников, расположенных внутри Земли и испытывающих лишь медленные вековые изменения (вариации) и

внешних (переменных) источников, расположенных в магнитосфере Земли и ионосфере. Что это за источники геомагнитного поля и почему различают основное (главное ~99%) и переменное (~1%) геомагнитные поля?

Вариант 5

Для исследования внутреннего строения Земли используют различные методы. Перечислите эти методы и дайте им сравнительную характеристику.

Вариант 6

Земля несет на себе отрицательный электрический заряд. Откуда и как берется этот на Земле этот заряд? Какие сопутствующие явления имеют место при образовании электрического заряда Земли?

Вариант 7

С какой линейной скоростью (в метрах в секунду) движется Екатеринбург, широта которого $56^0\ 51^/$.

Вариант 8

Если Землю представить глобусом с диаметром в 3 м, как выразится тогда сжатие Земли?

Вариант 9

О глубинном строении Земли судят по продольным и поперечным сейсмическим волнам, которые, распространяясь внутри Земли, испытывают преломление, отражение и затухание, что свидетельствует о расслоености Земли. Сформулируйте основные законы, описывающие указанные процессы.

Вариант 10

Тепловой поток в точке поверхности Земли составляет 0.071 Вт/м^2 . Какой тепловой поток поступает с поверхности мантии, если коэффициент теплопроводности пород земной коры здесь составляет в среднем 2.5 Вт/(мК), а её мощность -–40 км? Температурный градиент –2º /100 м.

Вариант 11

Для того чтобы стрелка компаса, устанавливаясь в плоскости магнитного меридиана, находилась в то же время в горизонтальном состоянии, на южную или северную часть стрелки прикрепляют уравновешивающий груз. С какой стороны необходимо прикрепить груз к стрелке компаса в двух исследуемых точках (долгота 0^0, широта 20 и широта -40)? В какую сторону (к центру или от центра стрелки) необходимо переместить груз для пользования в настоящем году, если последний раз компасом пользовались в 1975 году?

Вариант 12

Охарактеризуйте карты элементов геомагнитного поля (Z,H, T, dT, dH, dZ) эпохи 2015 года.

Вариант 13

Считая скорость изменения элементов геомагнитного поля постоянной с 1975 года, определите значения элементов магнитного поля для текущего года. Начертите в плоскости магнитного меридиана полный вектор геомагнитного поля T, его горизонтальную (H) и вертикальную (Z) составляющие. Покажите на построенной векторной диаграмме наклонение I. В чем принципиально отличаются векторные диаграммы геомагнитного поля в северных и южных широтах?

Вариант 14

Рассчитайте энергию, выделяющуюся в Земле за счёт радиоактивного распада в течение года. Русский учёный В.И. Вернадский считал радиогенную энергию основной для эволюции Земли. Прав ли он, если Земля ежегодно излучает в космическое пространство порядка 9,2·1020Дж, а потери её на тектоно-магматические процессы составляют около 1,26·1020 Дж/год?

Вариант 15

Определите энергию приливного торможения Земли, выделившуюся за период её жизни, если угловая скорость вращения Земли за это время уменьшилась в 2 раза. За счёт чего происходит замедление вращения Земли?

Вариант 16

Оцените среднюю плотность слоев Земли: земной коры, мантии и ядра. Сравните со средней плотностью вещества Земли. Плотности каких минералов они соответствуют? Предложите состав ядра.

2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Контрольная работа является индивидуальной самостоятельно выполненной работой студента.

Контрольная работа должна содержать следующие структурные элементы:

1. титульный лист;
2. содержание;
3. ответы на контрольные вопросы;
4. список использованных источников;
5. приложения (при необходимости).

Количество источников в списке определяется студентом самостоятельно, рекомендуемое количество от 5 до 10. При этом в списке обязательно должны присутствовать источники, изданные в последние 5 лет.

2.1 Оформление контрольной работы

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- текст располагается на одной стороне листа белой бумаги формата А-4;
- размер шрифта - 14 Times New Roman, цвет – черный;
- междустрочный интервал – полуторный;
- поля на странице – размер левого поля – 2 см, правого – 1 см, верхнего - 2 см, нижнего – 2 см;
- текст должен быть отформатирован по ширине листа;
- на первой странице необходимо изложить план (содержание) реферата;
- в конце работы необходимо указать источники использованной литературы.

Список использованных источников должен формироваться в алфавитном порядке по фамилии авторов.

Включенная в список литература нумеруется сплошным порядком от первого до последнего названия. По каждому литературному источнику указывается: автор (или группа авторов), полное название книги или статьи, место и наименование издательства (для книг и брошюр), год издания; для журнальных статей указывается наименование журнала, год выпуска и номер. По сборникам трудов (статей) указывается автор статьи, ее название и далее название книги (сборника) и ее выходные данные. На использованные источники в тексте работы должны быть ссылки

2.2 Критерии оценки контрольной работы

Срок сдачи готовой контрольной работы определяется утвержденным графиком. В случае отрицательного заключения преподавателя студент обязан доработать или переработать контрольную работу. Срок доработки контрольной работы устанавливается преподавателем с учетом сущности замечаний и объема необходимой доработки.

Контрольная работа оценивается по системе:

Оценка "отлично" выставляется за контрольную работу, которая носит исследовательский характер, содержит грамотно изложенный материал, с соответствующими обоснованными выводами.

Оценка "хорошо" выставляется за грамотно выполненную во всех отношениях контрольную работу при наличии небольших недочетов в его содержании или оформлении.

Оценка "удовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая удовлетворяет всем предъявляемым требованиям, но отличается поверхносностью, в ней просматривается непоследовательность изложения материала, представлены необоснованные выводы.

Оценка "неудовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая не носит исследовательского характера, не содержит анализа источников и подходов по выбранной теме, выводы носят декларативный характер.

Обучающийся, не представивший в установленный срок готовую контрольную работу, которая была оценена на «неудовлетворительно», считается имеющим академическую задолженность и не допускается к сдаче экзамена или зачета.

3. Составление глоссария

Выполнить подбор и систематизации терминов, непонятных слов и выражений, встречающихся при выполнении контрольной работы. Расположить после основной части контрольной работы название и значение терминов, слов и понятий в алфавитном порядке.

Роль студента: прочитать материал источника, выбрать главные термины, непонятные слова; подобрать к ним и записать основные определения или расшифровку понятий; критически осмыслить подобранные определения и попытаться их модифицировать (упростить в плане устранения избыточности и повторений.

4.Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Основная литература

1. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли / В.А.Магницкий. - М. : Недра, 2006 - 390 с Гаврилов В.П. Физика Земли: учебник для вузов.М.: Недра – Бизнесцентр, 2008. – 287 с.
2. Павлов А. Н. Геофизика. Общий курс о природе Земли: Учебник / Павлов А. Н. - Санкт-Петербург: Российский государственный гидро-метеорологический университет,2006, ISBN 5-86813-175-4.-454. http://www.iprbookshop.ru/12484
3. Алексеев А. С. Методы решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли/ Алексеев А. С.- Новосибирск: Сибирское отделение РАН,2010, ISBN 978-5-7692-1135-5.-310 http://www.iprbookshop.ru/15806

Дополнительная литература

1. Орленок В. В. Глобальный вулканизм и океанизация Земли и планет: Монография / Орленок В. В.- Калининград:Российский государственный университет им. Иммануила Канта,2010, ISBN 978-5-9971- 0022-3.-196. http://www.iprbookshop.ru/7358
2. Павлов А. Н. Геофизика. Тема 3 Физические модели Земли. Тема 4 Геофизические поля: Конспект лекций / Павлов А. Н. - Санкт-Петербург: Российский государственный гидро- метеорологический университет, 2004.-69. http://www.iprbookshop.ru/17906
3. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996, 188 с.
4. Моги К. Предсказание землетрясений / Пер. с англ. М.: Мир, 1988, 382 с.
5. Моисеенко У.И., Смыслов А.А. Температура земных недр. Л.: Недра, 1986, 180 с.
6. Орленок В.В. Физика и динамика внешних геосфер. М.: Недра, 1985, 183 с.
7. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм / Пер. с англ. М.: Мир, 1986, 528 с.

Единое окно доступа к образовательным ресурсам - Режим доступа: http://window.edu.ru

Составитель: _____ Л.А. Болотнова, доцент, к.г.-м.н.

подпись

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ (КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

ЧАСТЬ 1

«МЕТРОЛОГИЯ»

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 05.10. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 13.10. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….3
1 Основные понятия……...4
2 Нормативно-правовые основы метрологи……5
3 Свойства, физические величины. Измерение ФВ……7
4 Системы единиц физических величин. Система SI..……..…9
5 Виды и методы измерений ……...13
6 Средства измерений. Метрологические характеристики СИ…….....14
7 Нормирование и классы точности средств измерений……..….17
8 Погрешности измерений …….…….25
9 Правила округления и записи результата измерений……....27
10 Метрологическое обеспечение, службы и организации…….....28
11 Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений…….30
12 Государственный метрологический надзор…….....31
13 Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений…33
14 Поверка средств измерений…….34
15 Калибровка средств измерений……..36
16 Метрологическая экспертиза……..…37
17 Анализ и оценка состояния измерений……..38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…...…….35
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ……...36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…...……...37
ПРИЛОЖЕНИЕ А Сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений…...…….43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$……...…..44

ВВЕДЕНИЕ

Метрология – наука об измерениях. Измерения составляют основу познания человеком окружающего мира во всех исторических периодах. Важность измерений возрастает с развитием производительных сил. Огромную роль играют измерения в современном обществе. Наука, промышленность, экономика, образование, информатика, торговля, банковская система, таможенные операции, медицина, спорт и другие сферы деятельности человека немыслимы без измерений.

Стандартизация, оценка соответствия и метрология как важнейшие составляющие технического регулирования неразрывно связаны между собой. Активная деятельность общества, органов законодательной и исполнительной властей в этих направлениях является важнейшим условием становления рыночной экономики в Российской Федерации, увеличения Внутреннего Валового Продукта, расширения международных научных, технических и торговых связей, интеграции страны в мировую экономическую систему.

Важность метрологической деятельности, обеспечения единства измерений поддержана вниманием со стороны государства.

Правовую основу метрологии составляют:

- основной закон государства - Конституция Российской Федерации;

- Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008;

- федеральные законы отраслевого характера в части, касающейся единства измерений.

- Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ), представляющая собой комплекс нормативно-технических документов (ГОСТов, методических указаний и т.п.), устанавливающих единую номенклатуру стандартных взаимоувязанных правил и положений, требований и норм, относящихся к организации и методике оценивания и обеспечения точности измерений.

Дальнейшее развитие экономики России, расширение международной торговли и экономического сотрудничества, выражающиеся в увеличении количества и технического совершенства товаров, расширении спектра и повышении качества услуг, потребовали совершенствования правовой базы метрологии и приведения в соответствие метрологической деятельности с уровнем развития экономики страны.

Метрология (греч.) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Различают три раздела метрологии:

- теоретическая (фундаментальная);
- законодательная;
- практическая (прикладная).

Теоретическая метрология – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

Законодательная метрология – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

Практическая метрология – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологи.

Измерения играют огромную роль в науке, промышленности, экономике и коммуникациях. Практически отсутствуют сферы деятельности, где не применяют результаты измерений, испытаний, контроля.

1 Основные понятия

Аттестация методик (методов) измерений - исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям;

Ввод в эксплуатацию средства измерений - документально оформленная в установленном порядке готовность средства измерений к использованию по назначению;

Государственный метрологический надзор - контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований, а также в применении установленных законодательством Российской Федерации мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий;

Государственный первичный эталон единицы величины - государственный эталон единицы величины, обеспечивающий воспроизведение, хранение и передачу единицы величины с наивысшей в Российской Федерации точностью, утверждаемый в этом качестве в установленном порядке и применяемый в качестве исходного на территории Российской Федерации;

Государственный эталон единицы величины - эталон единицы величины, находящийся в федеральной собственности;

Единица величины - фиксированное значение величины, которое принято за единицу данной величины и применяется для количественного выражения однородных с ней величин;

Единство измерений - состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы;

Измерение - совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины;

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа - работы по определению метрологических и технических характеристик однотипных стандартных образцов или средств измерений.

Калибровка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений.

Методика (метод) измерений - совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.

Метрологическая служба - организующие и (или) выполняющие работы по обеспечению единства измерений и (или) оказывающие услуги по обеспечению единства измерений структурное подразделение центрального аппарата федерального органа исполнительной власти и (или) его территориального органа, юридическое лицо или структурное подразделение юридического лица либо объединения юридических лиц, работники юридического лица, индивидуальный предприниматель.

Метрологическая экспертиза - анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Метрологическая экспертиза проводится в обязательном (обязательная метрологическая экспертиза) или добровольном порядке.

Обязательные метрологические требования - метрологические требования, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и обязательные для соблюдения на территории Российской Федерации.

Передача единицы величины - приведение единицы величины, хранимой средством измерений, к единице величины, воспроизводимой эталоном данной единицы величины или стандартным образцом.

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Прослеживаемость - свойство эталона единицы величины или средства измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений.

Прямое измерение - измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Сличение эталонов единиц величин - совокупность операций, устанавливающих соотношение между единицами величин, воспроизводимых эталонами единиц величин одного уровня точности и в одинаковых условиях.

Средство измерений - техническое средство, предназначенное для измерений.

Стандартный образец - образец вещества (материала) с установленными по результатам испытаний значениями одной и более величин, характеризующих состав или свойство этого вещества (материала).

Тип средств измерений - совокупность средств измерений, предназначенных для измерений одних и тех же величин, выраженных в одних и тех же единицах величин, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации.

Тип стандартных образцов - совокупность стандартных образцов одного и того же назначения, изготавливаемых из одного и того же вещества (материала) по одной и той же технической документации

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений - документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов или типа средств измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа;

Фасованные товары в упаковках - товары, которые упаковываются в отсутствие покупателя, при этом содержимое упаковки не может быть изменено без ее вскрытия или деформирования, а масса, объем, длина, площадь или иные величины, определяющие количество содержащегося в упаковке товара, должны быть обозначены на упаковке;

Эталон единицы величины - техническое средство, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины.

2 Нормативно-правовые основы метрологии

Значимость и высокая ответственность измерений в экономике государства обуславливают необходимость установления в законодательном порядке комплекса правовых актов и положений по метрологии. Россия в числе семнадцати государств подписала Метрическую конвенцию в 1875 г.

Вся метрологическая деятельность в РФ основана на конституционной норме (Конституция РФ, статья 71, пункт «Р»), которая закрепляет централизованное государственное руководство основными вопросами законодательной метрологии. В федеральном ведении находятся стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени.

В целях реализации конституционной нормы приняты Федеральные законы «Об обеспечении единства измерений», «О техническом регулировании», составляющие правовые основы метрологической деятельности.

Нормативные документы по обеспечению единства измерений:

- постановления Правительства РФ по отдельным вопросам и направлениям метрологической деятельности;

- комплекс нормативно-технических документов (ГОСТов, методических указаний и т.п.) государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), устанавливающих единую номенклатуру стандартных взаимоувязанных

правил и положений, требований и норм, относящихся к организации и методике оценивания и обеспечения точности измерений;

- рекомендации государственных научных метрологических центров Ростандарта.

Основные *цели* ФЗ «Об обеспечении единства измерений»:

- установление правовых основ обеспечения единства измерений в Российской Федерации;

- защита прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;

- обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, животного и растительного мира, обеспечения обороны и безопасности государства, в том числе экономической безопасности;

- содействие развитию экономики Российской Федерации и научно-техническому прогрессу.

Закон закрепляет одно из основных понятий метрологии – единство измерений и другие понятия.

Закон устанавливает, что государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений осуществляет Национальный орган РФ по метрологии – *Росстандарт (*ранее назывался *Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии),* определяет его цели, задачи, компетенцию, ответственность и полномочия.

Положения Закона расширены *Государственной системой обеспечения единства измерений* (ГСИ) - комплексом нормативных документов межрегионального и межотраслевого уровней, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства измерений в РФ.

Основные *объекты* ГСИ:

- единицы физических величин;

- государственные эталоны, поверочные схемы;

- методы и средства поверки СИ;

- номенклатура и способы нормирования МХ СИ;

- нормы точности измерений;

- способы выражения и формы представления результатов и показателей точности измерений;

- методики выполнения измерений;

- методики оценки достоверности и формы представления данных о свойствах веществ и материалов;

- требования к стандартным образцам свойств веществ и материалов;

- термины и определения в области метрологии;

- организация и порядок проведения государственных испытаний СИ, поверки и метрологической аттестации СИ и испытательного оборудования;

- организация и порядок проведения калибровки СИ, метрологической экспертизы нормативно-технической, проектной, конструкторской и технологической документации, а также экспертизы свойств материалов и веществ.

В дополнение и для реализации положений ФЗ «Об обеспечении единства измерений» Правительство РФ разрабатывает и принимает подзаконные акты – нормативные документы в области метрологии.

3 Свойства, физические величины. Измерение ФВ

Свойство – философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношении к ним. Свойство – категория качественная.

Величина – свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.

Величины подразделяют на два вида:

- идеальные;
- реальные.

Идеальные величины – являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий и относятся главным образом к математике.

Реальные величины подразделяют на две группы:

- нефизические;
- физические.

Нефизические величины свойственны общественным наукам (философия, психология, социология, экономика). Нефизические величины не могут быть измерены, а только оценены.

Физические величины свойственны материальным объектам (процессам, явлениям), изучаемым в естественных (физика, химия) и технических (машиноведение, электротехника) науках.

Физическая величина (ФВ) – одно из свойств физического объекта, в качественном отношении общее для многих физических объектов, а в количественном - индивидуальное, для каждого из них (твёрдость, плотность, теплопроводность, электропроводность).

По возможности измерения ФВ подразделяют на:

- измеряемые;
- оцениваемые.

Измеряемые – величины, которые могут быть выражены количественно в виде определённого числа установленных единиц измерения.

Оцениваемые – величины, для которых не может быть введена единица измерения.

По видам явлений ФВ подразделяют на группы:

- *вещественные*;
- *энергетические*;
- *характеризующие протекание процессов во времени*.

Вещественные – описывают физические и физико-химические свойства веществ, материалов (масса, плотность, электрическое сопротивление).

Энергетические – описывают энергетические характеристики процессов преобразования, передачи, использования энергии (энергия, мощность, сила и напряжение электрического тока).

Характеризующие протекание процессов во времени – различного рода спектральные характеристики, корреляционные функции.

По принадлежности к различным физическим процессам ФВ классифицируют на:

- пространственно-временные;
- механические, тепловые, электрические, магнитные;
- акустические, световые;
- физико-химические;
- ионизирующих излучений, атомной и ядерной физики.

По степени зависимости от других величин ФВ подразделяют на:

- основные (условно независимые);
- производные (условно зависимые);
- дополнительные.

Измерение ФВ – познавательный процесс, заключающийся в сравнении путём физического эксперимента данной ФВ с её известной величиной, принятой за единицу измерения.

Основное уравнение измерения – уравнение вида:

$$Q = q \cdot /Q/. \qquad (1)$$

Значение ФВ - Q – оценка её размера в виде некоторого числа принятых для неё единиц.

Числовое значение ФВ - q – отвлечённое число, показывающее отношение значения величины к единице измерения данной величины.

Единица ФВ - /Q/ – величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение равное единице измеряемой величины. Единицу ФВ применяют для количественного выражения однородных величин.

В практической деятельности производят измерения различных величин, характеризующих свойства тел, веществ, явлений и процессов. Разнообразные количественные или качественные проявления любого свойства образуют множества, отображения которых образуют шкалы.

Шкала ФВ – упорядоченная последовательность значений, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений. В соответствии с логической структурой проявления свойств различают шкалы измерений:

- шкала наименований (шкала цветов);
- шкала порядка (шкалы вязкости вещества, силы ветра);
- шкала интервалов (шкалы летоисчисления, температур);
- шкала отношений, (шкалы массы, термодинамической температуры);
- абсолютная шкала (шкалы относительных величин - усиления, ослабления).

Шкалы наименований и порядка называют неметрическими (концептуальными), шкалы интервалов и соотношений - метрическими. Метрические и абсолютные шкалы относят к разряду линейных. Практическая реализация шкал из-

мерений осуществляют стандартизацией шкал, единиц измерений, способов и условий их однозначного воспроизведения.

4 Системы единиц физических величин. Система SI

Система ФВ – совокупность ФВ, в которой одни величины принимают независимыми, а другие являются их функциями.

Обосновано, но произвольным образом выбирают несколько ФВ и называют *основными*. Остальные выражают через основные на основе известных уравнений связи между ними и называют *производными*.

Система единиц ФВ - совокупность основных, производных и дополнительных единиц ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами.

В науке и технике в разное время применяли системы единиц:

- СГС (сантиметр, грамм, секунда);
- МКС (метр, килограмм, секунда);
- МКСГ (метр, килограмм, секунда, градус);
- МКСА (метр, килограмм, секунда, ампер);
- МСС (метр, секунда, свеча) и ряд других.

Единая международная система единиц (SI) принята Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г. На территории РФ действует в соответствии с ГОСТ 8.417-2002 система единиц SI. Международная система (SI , фр. Le Système International d'Unités) для механических единиц совпадает с системой МКС, а для электромагнитных - с системой МКСА.

Система SI принята для применения в большинстве стран мира, что обусловлено её достоинствами:

- универсальность, применение во всех областях науки и техники;
- унификация всех областей и видов измерений;
- когерентность величин;
- возможность воспроизведения единиц с высокой точностью;
- упрощение записи формул в физике, химии, технических науках;
- уменьшение числа допускаемых единиц измерения;
- единая система образования десятичных кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования;
- облегчение педагогического процесса в средней и высшей школах;
- лучшее взаимопонимание при развитии научно-технических и экономических связей между различными странами.

Международная система физических единиц СИ включает семь основных и две дополнительные единицы.

Основные единицы системы SI:

-*метр* – единица длины – длина пути, которую проходит свет в вакууме за 1/299 792 458 долю секунды;

-*килограмм* – единица массы - масса международного прототипа – цилиндра, изготовленного из сплава платины и иридия;

-*секунда* – единица времени - продолжительность 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующих переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия Cs^{133};

-*ампер* – единица силы тока - сила тока, которая при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 метр один от другого, в вакууме создала бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Ньютонов на каждый метр длины;

-*кельвин* – единица температуры - температура, составляющая 1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды;

-*моль* – единица количества вещества - количество вещества, содержащее столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода C^{12} – массой 0,012 кг;

-*кандела* – единица силы света - сила света в заданном направлении от источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540 10^{12} Гц, энергетическая сила которого составляет 1/683 Вт/$ср^2$.

Дополнительные единицы системы СИ:

радиан – единица плоского угла - плоский угол между двумя радиусами окружности, длина дуги которой равна радиусу;

стерадиан – единица телесного угла - телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Производные единицы могут быть когерентными и некогерентными.

Когерентная единица – производная единица ФВ, связанная с другими единицами системы уравнением, в котором числовой множитель равен единице.

Единицы ФВ подразделяются на системные и внесистемные.

Системная – единица ФВ, входящая в одну из принятых систем.

Внесистемная – единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц.

По отношению к единицам системы SI внесистемные единицы подразделяют на:

- допускаемые к применению наравне с единицами системы SI (единица массы – тонна, плоского угла – градус, минута, секунда);

- допускаемые к применению в специальных областях науки (единицы длины в астрономии – астрономическая единица, парсек, световой год);

- временно допускаемые к применению наравне с единицами SI (единица длины в морском деле – миля, массы в ювелирном деле – карат);

- изъятые из употребления (единица давления – миллиметр ртутного столба, мощности – лошадиная сила).

Производные единицы системы SI, имеющие специальные названия, приведены в таблице 1. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами системы SI, приведены в таблице 2. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования приведены в таблице 3.

Таблица 1 Производные единицы системы СИ, имеющие специальные названия

Величина	Единица	
Наименование	Наименование	Обозначение
Частота	герц	Гц
Сила, вес	ньютон	Н
Давление, механическое напряжение	паскаль	Па
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Количество электричества	кулон	Кл
Электрическое напряжение	вольт	В
Электрическая ёмкость	фарад	Ф
Электрическое сопротивление	Ом	Ом
Электрическая проводимость	сименс	См
Поток магнитной индукции	вебер	Вб
Магнитная индукция	тесла	Тл
Индуктивность	генри	Гн
Световой поток	люмен	лм
Освещённость	люкс	лк
Активность радионуклида	беккерель	Бк
Поглощённая доза ионизирующего излучения	грей	Гр
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Зв

Таблица 2 Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	10^3 кг
	атомная единица массы	а. е. м.	$1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3 600 с
	сутки	сут	86 400 с
Плоский угол	градус	^{0}	$1{,}745 \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	... $^/$	$2{,}909 \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	... $^{//}$	$4{,}848 \cdot 10^{-6}$ рад
Длина	астрономическая единица	а. е.	$1{,}456 \cdot 10^{11}$ м
	световой год	св. год	$9{,}461 \cdot 10^{15}$ м
	парсек	ПК	$3{,}086 \cdot 10^{16}$ м
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 $м^{-1}$
Площадь	гектар	га	$1 \cdot 10^4$ $м^2$
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Дж
Полная мощность	вольт-ампер	ВА	-
Реактивная мощность	вар	вар	-

Таблица 3 Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Множитель	Приставка	Обозначение		Множитель	Приставка	Обозначение	
		международное	русское			международное	русское
10^{18}	экса	E	Э	10^{-1}	деци	d	д
10^{15}	пета	P	П	10^{-2}	санти	c	с
10^{12}	тера	T	Т	10^{-3}	милли	m	м
10^{9}	гига	G	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{6}	мега	M	М	10^{-9}	нано	n	н
10^{3}	кило	k	к	10^{-12}	пико	p	п
10^{2}	гекто	h	г	10^{-15}	фемто	f	ф
10^{1}	дека	da	да	10^{-18}	атто	a	а

5 Виды, методы измерений

Виды измерений определяются физическим характером измеряемой величины, требуемой точностью измерения, скоростью изменения измеряемой величины, условиями измерений. С развитием науки и техники увеличивается количество видов и совершенствуются методы измерений.

В зависимости от цели различают измерения: контрольные, диагностические и прогностические, лабораторные и технические, эталонные и поверочные, абсолютные и относительные.

Измерения могут быть: контактные и бесконтактные, одно- и многократные, необходимые и избыточные, статические и динамические, с точным и приблизительным оцениванием погрешности.

По способу получения результата различают ***виды*** измерений:

- *прямые* – искомое значение величины находят экспериментальным сравнением её с единицей измерения (мерой) или отсчётом показаний прибора, отградуированного в установленных единицах (измерение длины линейкой, измерение температуры термометром). Прямые измерения – основа более сложных;

- *косвенные* – искомое значение величины находят по результатам прямых измерений нескольких величин, связанных с искомой известной зависимостью (измерение плотности тела по измеренным массе и линейным размерам, измерение мощности электрической цепи по измеренным значениям силы тока и напряжения);

- *совокупные* – искомое значение величины находят решением системы уравнений, составленных по результатам производимых одновременно прямых измерений нескольких *одноимённых* величин (измерение температурного коэффициента линейного расширения);

- *совместные* – искомое значение величины находят решением системы уравнений, составленных по результатам производимых одновременно прямых и косвенных измерений нескольких *неодноимённых* величин (измерение электрического сопротивления проводника при различных фиксированных значениях температуры).

Метод измерения – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Принцип измерения – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений (измерение температуры по расширению тела).

Стандартные методы прямых измерений:

- *непосредственной оценки* – метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений (измерение давления пружинным манометром, силы электрического тока - амперметром);

- *сравнения с мерой* – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (измерение массы на рычажных весах с помощью гирь);

- *дополнения* – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению;

- *дифференциальный* – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами;

- *нулевой* – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля;

- *замещения* – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины (поочередное помещение измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашу весов).

Нестандартные методы измерений:

- *противопоставления* – метод, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно действуют на прибор сравнения (измерение массы на равноплечих весах с помещением измеряемой массы и уравновешивающих её гирь на двух чашах);

- *совпадения* – метод, при котором разность между сравниваемыми величинами измеряют по совпадению отметок шкал или периодических сигналов (штангенциркуль, стробоскоп).

6 Средства измерений. Метрологические характеристики СИ

Средство измерения (СИ) – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности в течение известного интервала времени.

СИ сгруппированы по отдельным классификационным признакам:

- *по способу регистрации сигнала* - показывающие, регистрирующие (печатающие, пишущие), комбинированные (одновременно показывающие и регистрирующие), интегрирующие (суммирующие);

- *по роду выходного сигнала* - аналоговые, цифровые, аналого-цифровые;

- *по физической природе* измеряемой величины - механические, гидравлические, пневматические, тепловые, акустические, электрические, электронные, комбинированные и прочие;

- *по виду шкалы* - с равномерной и неравномерной шкалой, с нулевой отметкой внутри, на краю или вне шкалы;

- *по степени автоматизации* - неавтоматические (с ручной наводкой), автоматизированные, автоматические;

- *по характеру использования* - образцовые, лабораторные, технические (промышленные), полевые.

Основные *виды* СИ:

- *мера* – средство, хранящее или воспроизводящее ФВ заданного размера. Мера может быть однозначной (гиря, калибр) и многозначной (измерительная линейка, магазин электрических сопротивлений). Измерение методом сравнения с мерой выполняют с помощью специальных средств - компараторов (равноплечие весы, электрический измерительный мост). В ряде случаев в качестве компаратора выступает человек - оператор;

- *измерительный преобразователь* – средство, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, обработки, хранения, но не доступной для непосредственного восприятия оператором (термопара, термометр сопротивления, усилитель);

- *измерительный прибор* – средство, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия оператором (амперметр, вольтметр, манометр);

- *измерительная установка* – совокупность функционально объединённых СИ и вспомогательных устройств, расположенных в одном месте (установки для поверки измерительных приборов, испытаний электротехнических материалов);

- *измерительная система* – комплекс СИ и устройств связи (проводная, инфракрасная, радио, телевизионная, оптоволоконная), предназначенный для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для использования в системах автоматического контроля и управления;

- *информационно-вычислительный комплекс* (ИВК) – системы автоматического контроля и управления, технического диагностирования, распознавания образов на базе микропроцессорной и вычислительной техники;

- *измерительные принадлежности* – вспомогательные средства измерений величин (термометр, психрометр для измерения параметров воздуха).

По метрологическому назначению СИ подразделяют на два вида:

- метрологические (эталоны);

- рабочие (лабораторные, производственные, полевые).

Эталон – высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения, хранения единицы величины с целью передачи её значения другим менее точным СИ. Эталоны классифицируют на первичные (составляют основу государственной системы измерений), вторичные, рабочие (разрядные). Рабочие эталоны воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и передают его рабочим СИ.

Эталонная база РФ имеет в своём составе 128 государственных и более 250 вторичных эталонов ФВ.

Перспективное направление развития эталонов – переход на эталоны, основанные на квантовых эффектах. Способность таких эталонов воспроизводить единицы величин не зависит от внешних условий, географического местонахождения, времени.

Рабочие СИ – средства измерений, предназначенные для выполнения измерений в лабораторных и производственных условиях.

Метрологические характеристики (МХ) – характеристики, которые позволяют судить о пригодности СИ для измерений в известном диапазоне с известной точностью.

Индикаторы – приборы и вещества, не имеющие нормированных МХ.

МХ вводят для СИ с целями:

- обеспечения возможности установления точности измерений;
- достижения взаимозаменяемости СИ;
- сравнения и выбора нужных СИ по точности измерений;
- определения погрешности измерительных систем и установок на основе МХ входящих в них СИ;
- оценки технического состояния СИ при поверке.

Нормальные МХ устанавливают нормативными документами. Наибольшее распространение на практике получили МХ:

- *диапазон показаний* – область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями;
- *диапазон измерений* – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности;
- *цена деления шкалы* – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. СИ с равномерной шкалой имеют постоянную цену деления, а с неравномерной - переменную;
- *чувствительность S* – отношение изменения сигнала на выходе Δy к вызвавшему это изменение изменению Δx сигнала на входе:

$$S = \Delta y / \Delta x. \qquad (2)$$

Для стрелочного прибора это отношение перемещения *dl* конца стрелки к вызвавшему его изменению *dx* измеряемой величины:

$$S = dl / dx; \qquad (3)$$

- *постоянная прибора C* – величина обратная чувствительности:

$$C = 1/S; \qquad (4)$$

- *порог чувствительности* – наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее заметное изменение показаний прибора;
- *вариация (гистерезис) H* – разность между показаниями в данной точке диапазона измерения при возрастании и убывании измеряемой величины и неизменных внешних условий. Вариация обусловлена наличием зазоров, тепловым или упругим последействием элементов конструкции:

$$H = / x_в – x_у /, \qquad (5)$$

где $x_в$, x_y – соответственно значения измерений образцовым прибором при возрастании и убывании величины x;

- *градуировочная характеристика* – зависимость между выходным и входным сигналами СИ, полученная расчётом или экспериментально, представленная аналитически, графически или в виде таблицы. Градуировочная характеристика может изменяться в течение времени под воздействием внутренних и внешних причин.

Основным видом МХ является *погрешность* измерений – разность между показаниями СИ и истинными (действительными) значениями ФВ. Погрешности в зависимости от влияния внешних условий на результат измерений подразделяют на два вида:

- *основная погрешность* – погрешность СИ при нормальных условиях эксплуатации. Нормальные условия: температура 293 $\pm$ 5 К, относительная влажность воздуха 65 $\pm$ 15%, напряжение в сети электропитания 220 В $\pm$ 10% с частотой 50 Гц $\pm$ 1%, атмосферное давление от 97,4 до 104,0 кПа, отсутствие наводок электрических и электромагнитных полей;

- *дополнительная погрешность* – погрешность измерений, возникающая при отклонении влияющих величин за диапазон значений, установленных нормальными условиями.

Существует несколько способов нормирования погрешности. Наибольшее применение в практике измерений аналоговыми СИ получило нормирование *класса точности* по приведённой погрешности γ, постоянной во всём диапазоне измерений.

7 Нормирование и классы точности средств измерений

Точность средств измерений определяется предельно-допустимыми погрешностями, которые могут быть получены при его использовании.

Нормированием погрешностей средств измерений называют процедуру назначения допустимых границ основной и дополнительных погрешностей измерений, при использовании этих средств измерений, а также выбор формы указания этих границ в нормативно-технической документации.

Пределы допускаемой основной и дополнительных погрешностей определяются разработчиками для каждого типа средств измерений на стадии подготовки производства. В зависимости от назначения средства измерений и характера изменения погрешности в пределах диапазона измерений нормируется для средств измерений различного типа либо предельно-допустимое значение основной абсолютной погрешности, либо предельно-допустимое значение основной приведенной погрешности, либо предельно-допустимое значение основной относительной погрешности.

Для каждого типа средств измерений характер изменения погрешности в пределах диапазона измерений зависит от принципа действия этого средства измерений и может быть самым разнообразным. Однако, как показала практика, среди этого многообразия часто удается выделить три типовых случая, предопределяющих выбор формы представления пределов допускаемой погрешно-

сти. Типовые варианты отклонения реальных передаточных характеристик средств измерений от номинальной характеристики и соответствующие им графики изменения предельных значений абсолютной и относительной погрешностей в зависимости от измеряемой величины приведены на рисунке 1.

Если реальная передаточная характеристика средства измерений смещена по отношению к номинальной (1-й график на рисунке 1а), абсолютная погрешность, возникающая при этом, (1-й график на рисунке 1б), не зависит от измеряемой величины.

Составляющую погрешности средства измерений, не зависящую от измеряемой величины, называют **аддитивной погрешностью.**

Если угол наклона реальной передаточной характеристики средства измерений отличается от номинального (2-й график на рисунке 1а), то абсолютная погрешность будет линейно зависеть от измеряемой величины (2-й график на рисунке 1б).

Составляющую погрешности средства измерений, линейно зависящую от измеряемой величины, называют **мультипликативной погрешностью.**

Если реальная передаточная характеристика средства измерений смещена по отношению к номинальной и угол ее наклона отличается от номинального (3-й график на рисунке 1а), то в этом случае имеет место как аддитивная, так и мультипликативная погрешность.

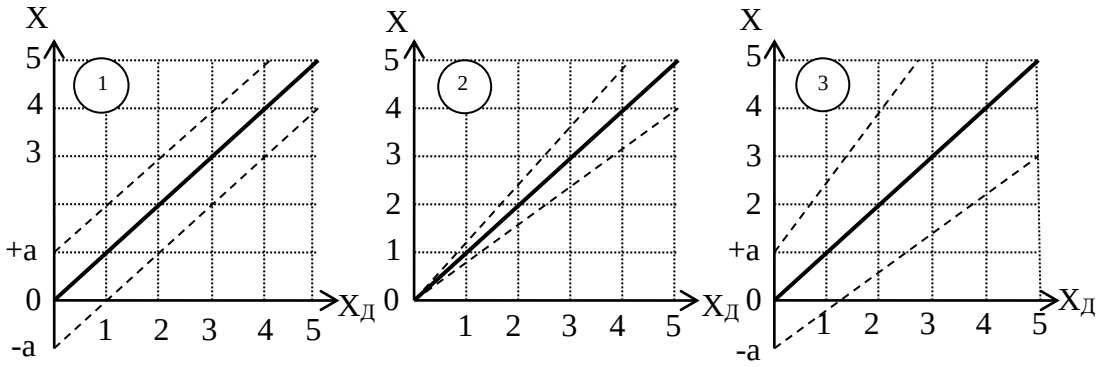
Аддитивная погрешность возникает из-за неточной установки нулевого значения перед началом измерений, ухода нуля в процессе измерений, из-за наличия трений в опорах измерительного механизма, из-за наличия термо-ЭДС в контактных соединениях и т.д.

Мультипликативная погрешность возникает при изменении коэффициентов усиления или ослабления входных сигналов (например, при изменении температуры окружающей среды, или вследствие старения элементов), из-за изменения значений, воспроизводимых мерами, встроенными в измерительные приборы, из-за изменений жесткости пружин, создающих противодействующий момент в электромеханических приборах и т.д.

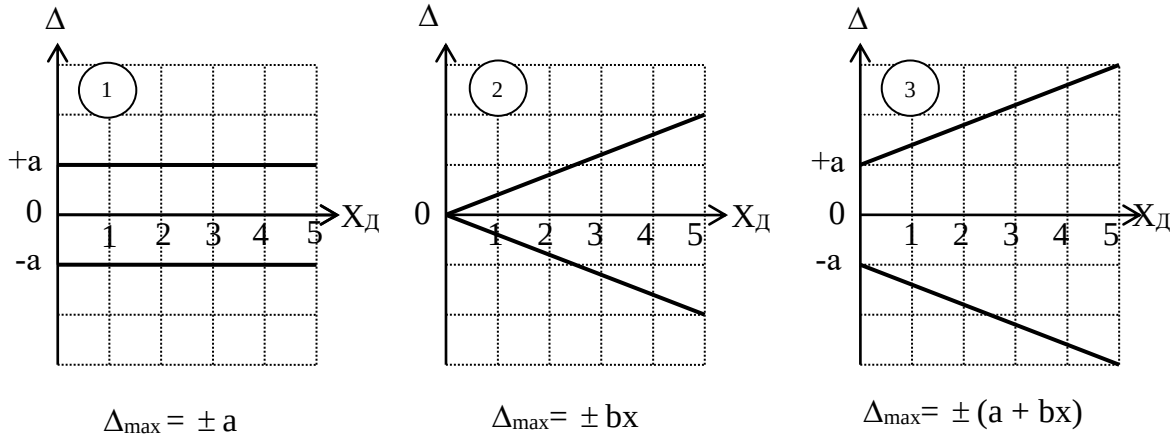
Ширина полосы неопределенности значений абсолютной (рисунке 1б) и относительной (рисунке 1в) погрешностей характеризует разброс и изменение в процессе эксплуатации индивидуальных характеристик множества находящихся в обращении средств измерений определенного типа.

А) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью.

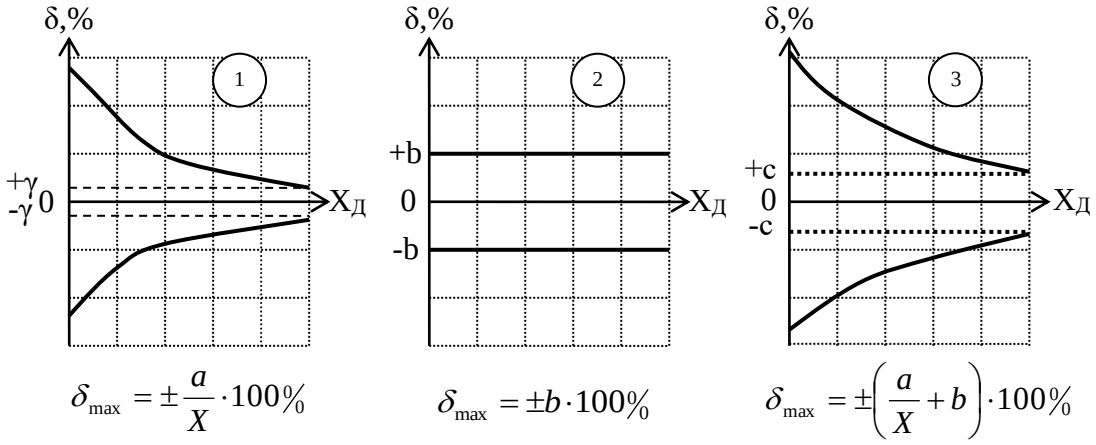
Для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью (1-й график на рисунке 1) удобно нормировать одним числом предельно-допустимое значение абсолютной погрешности ($\Delta_{max}= \pm a$). В этом случае фактическая абсолютная погрешность Δ каждого экземпляра средства измерений данного типа на различных участках шкалы может иметь различные значения, но не должна превышать предельно-допустимой величины ($\Delta \leq \pm a$).



а) Типовые варианты отклонения реальных передаточных характеристик средств измерений от номинальной характеристики.



б) Пределы допускаемой абсолютной погрешности.



в) Пределы допускаемой относительной погрешности.

Рисунок 1 Иллюстрации к выбору формы представления пределов допускаемой основной погрешности

В многопредельных измерительных приборах с преобладающей аддитивной погрешностью для каждого предела измерений пришлось бы указывать свое значение предельно допустимой абсолютной погрешности. К сожалению, как видно из 1-го графика на рисунке 1в, нормировать одним числом предел допускаемой относительной погрешности в различных точках шкалы не представляется возможным. По этой причине для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью часто нормируют одним числом значение так называемой основной **приведенной относительной погрешности**

Ширина полосы неопределенности значений абсолютной (рисунке 1б) и относительной (рисунке 1в) погрешностей характеризует разброс и изменение в процессе эксплуатации индивидуальных характеристик множества находящихся в обращении средств измерений определенного типа.

А) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью.

Для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью (1-й график на рисунке 1) удобно нормировать одним числом предельно-допустимое значение абсолютной погрешности ($\Delta_{max}= \pm a$). В этом случае фактическая абсолютная погрешность Δ каждого экземпляра средства измерений данного типа на различных участках шкалы может иметь различные значения, но не должна превышать предельно-допустимой величины ($\Delta \le \pm a$). В многопредельных измерительных приборах с преобладающей аддитивной погрешностью для каждого предела измерений пришлось бы указывать свое значение предельно допустимой абсолютной погрешности. К сожалению, как видно из 1-го графика на рисунке 1в, нормировать одним числом предел допускаемой относительной погрешности в различных точках шкалы не представляется возможным. По этой причине для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью часто нормируют одним числом значение так называемой основной **приведенной относительной погрешности**

$$\gamma = \pm \frac{\Delta_{max}}{X_N} \cdot 100\% = \pm \frac{a}{X_N} \cdot 100\%,$$

где X_N – нормирующее значение.

Таким способом, например, нормируются погрешности большинства электромеханических и электронных приборов со стрелочными индикаторами. В качестве нормирующего значения X_N обычно используется предел измерений ($X_N = X_{max}$), удвоенное значение предела измерений (если нулевая отметка находится в середине шкалы), или длина шкалы (для приборов с неравномерной шкалой). Если $X_N = X_{max}$, то значение приведенной погрешности γ равно пределу допускаемой относительной погрешности средства измерений в точке, соответствующей пределу измерений. По заданному значению предела допускаемой основной приведенной погрешности легко определить предел допускаемой основной абсолютной погрешности для каждого предела измерений многопредельного прибора:

$$\Delta_{max} = \pm \frac{\gamma \cdot X_{max}}{100}.$$

После этого для любой отметки шкалы X может быть произведена оценка предельно-допустимой основной относительной погрешности:

$$\delta = \pm \frac{\Delta_{\max}}{X} \cdot 100\% = \pm\gamma \frac{X_{\max}}{X}.$$

Б) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью.

Как видно из рисунке 1 (2-й график), для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью, одним числом удобно нормировать предел допускаемой основной относительной погрешности (рисунке 1в) $\delta_{max} = \pm b \cdot 100\%$. В этом случае, фактическая относительная погрешность каждого экземпляра средства измерений данного типа на различных участках шкалы может иметь различные значения, но не должна превышать предельно допустимой величины ($\delta \leq \pm b \cdot 100\%$). По заданному значению предельно допустимой относительной погрешности δ_{max} для любой точки шкалы может быть произведена оценка предельно-допустимой абсолютной погрешности:

$$\Delta \leq \pm \frac{\delta_{\max} \cdot X}{100\%} = \pm b \cdot X.$$

К числу средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью относится большинство многозначных мер, счетчики электрической энергии, счетчики воды, расходомеры и др. Следует отметить, что для реальных средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью не удается полностью устранить аддитивную погрешность. По этой причине в технической документации всегда указывается наименьшее значение измеряемой величины, для которого предел допускаемой основной относительной погрешности ещё не превышает заданного значения δ_{max}. Ниже этого наименьшего значения измеряемой величины погрешность измерений не нормируется и является неопределенной.

В) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с соизмеримой аддитивной и мультипликативной погрешностью.

Если аддитивная и мультипликативная составляющая погрешности средства измерений соизмеримы (3-й график на рисунке 1), то задание предельно-допустимой погрешности одним числом не представляется возможным. В этом случае либо нормируется предел допускаемой абсолютной основной погрешности (указываются предельно-допустимые значения a и b), либо (чаще всего) нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности. В последнем случае численные значения предельно-допустимых относительных погрешностей в различных точках шкалы оцениваются по формуле:

$$\delta_{\max} = \pm\left[c + d\left(\frac{X_{\max}}{X} - 1\right)\right],$$

где X_{max} – предел измерений;

X - измеренное значение;

d = $\frac{a}{X_{\max}} \cdot 100\%$ - значение приведенной к пределу измерений аддитивной составляющей основной погрешности;

c = $\left(b + \frac{a}{X_{\max}} \right) \cdot 100\%$ - значение результирующей относительной основной погрешности в точке, соответствующей пределу измерений.

Рассмотренным выше способом (указанием численных значений c и d) нормируются, в частности, предельно-допустимые значения относительной основной погрешности цифровых измерительных приборов. В этом случае относительные погрешности каждого экземпляра средств измерений определенного типа не должны превышать установленных для этого типа средств измерений значений предельно-допустимой погрешности:

$$\delta \le \delta_{\max} = \pm \left[c + d \left(\frac{X_{\max}}{X} - 1 \right) \right].$$

При этом абсолютная основная погрешность определяется по формуле

$$\Delta \le \Delta_{\max} = \pm \frac{\delta_{\max} \cdot X}{100}.$$

Г) Нормирование дополнительных погрешностей.

Наиболее часто пределы допускаемых дополнительных погрешностей указывают в технической документации либо одним значением для всей рабочей области величины, влияющей на точность средства измерений (иногда несколькими значениями для поддиапазонов рабочей области влияющей величины), либо отношением предела допускаемой дополнительной погрешности к интервалу значений влияющей величины. Пределы допускаемых дополнительных погрешностей указываются на каждой, влияющей на точность средства измерений величине. При этом, как правило, значения дополнительных погрешностей устанавливают в виде дольного или кратного значения предела допускаемой основной погрешности. Например, в документации может быть указано, что при температуре окружающей среды за пределами нормальной области температур, предел допускаемой дополнительной погрешности, возникающей по этой причине, не должен превышать ± 0,2% на 10^{o} C.

Класс точности средства измерений – это его характеристика, отражающая точностные возможности средств измерений данного типа.

Допускается буквенное или числовое обозначение классов точности. Средствам измерений, предназначенным для измерения двух и более физических величин, допускается присваивать различные классы точности для каждой измеряемой величины. Средствам измерений с двумя или более переключаемыми диапазонами измерений также допускается присваивать два или более класса точности.

Если нормируется предел допускаемой абсолютной основной погрешности, или в различных поддиапазонах измерений установлены разные значения пределов допускаемой относительной основной погрешности, то , как правило, применяется буквенное обозначение классов. Так, например платиновые термометры сопротивления изготовляют с классом допуска **А** или классом допуска **В.**

При этом для класса **A** установлен предел допускаемой абсолютной основной погрешности

$$\Delta_{max} = (0{,}15 + 0{,}001 \cdot t_x),$$

а для класса **B**

$$\Delta_{max} = \pm(0{,}3 + 0{,}005 \cdot t_x),$$

где t_x – температура измеряемой среды.

Если для средств измерений того или иного типа нормируется одно значение предельно-допустимой приведенной основной погрешности, или одно значение предельно-допустимой относительной основной погрешности, или указываются значения **c** и **d**, то для обозначения классов точности используются десятичные числа. В соответствии с ГОСТом 8.401-80 для обозначения классов точности допускается применение следующих чисел:

$1 \cdot 10^n$; $1{,}5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$; $2{,}5 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$, где n = 0, -1, -2, и т.д.

Для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью численное значение класса точности выбирается из указанного ряда равным предельно-допустимому значению приведенной основной погрешности, выраженной в процентах. Для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью численное значение класса точности соответствует пределу допускаемой относительной основной погрешности также выраженной в процентах. Для средств измерений с соизмеримыми аддитивными и мультипликативными погрешностями числа **c** и **d** также выбираются из указанного выше ряда. При этом класс точности средства измерений обозначается двумя числами, разделенными косой чертой, например, 0,05/0,02. В этом случае **c** = 0,05% ; **d** = 0,02%. Примеры обозначений классов точности в документации и на средствах измерений, а также расчетные формулы для оценки пределов допускаемой основной погрешности приведены в таблице 4.

Примеры обозначений классов точности средств измерений и расчетные формулы для оценки пределов допустимой основной погрешности

Форма представления нормируемой основной погрешности	Примеры обозначения класса точности		Расчетные формулы для оценки пределов допускаемой основной погрешности	Примечания
	В документации	На средствах измерений		
Нормируется предел допускаемой абсолютной основной погрешности	Варианты: - класс **В**; - класс допуска **B;** - класс точности **B.**	**B**	$\Delta_{max} = \pm a$ или $\Delta_{max} = \pm(a + bx)$ $\delta_{max} = \pm\frac{a}{x}\cdot 100\%$ или $\delta_{max} = \pm\left(\frac{a}{x} + b\right)\cdot 100\%$	Значения **a** и **b** приводятся в документации на средство измерений.
Нормируется предел допускаемой приведенной основной погрешности	Варианты: - класс точности 1,5 - не обозначается.	**1,5**	$\Delta_{max} = \pm\frac{\gamma\cdot x_{max}}{100}$, $\gamma = 1{,}5\%$ $\delta_{max} = \pm\gamma\cdot\frac{x_{max}}{x}$, где x_{max} – предел измерений.	Для приборов с равномерной шкалой и нулевой отметкой в начале шкалы
	Варианты: - класс точности 2,5; - не обозначается		$\Delta l_{max} = \pm\frac{\gamma\cdot L}{100}$, $\gamma = 2{,}5\%$ Δl_{max} - предел допускаемой абсолютной погрешности в мм. L - длина всей шкалы.	Для приборов с неравномерной шкалой. Длина шкалы указывается в документации.
Нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности	Класс точности 0,5.		$\delta_{max} = \pm b\cdot 100\% = \pm 0{,}5\%$ $\Delta_{max} = \pm\frac{\delta_{max}\cdot x}{100}$	Для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью.
	Варианты: - класс точности 0,02/0,01; -не обозначается.	**0,02/0,01**	$\delta_{max} = \pm\left[0{,}02 + 0{,}01\left(\frac{x_{max}}{x} - 1\right)\right]\%$ $\Delta_{max} = \pm\frac{\delta_{max}\cdot x}{100}$	Для средств измерений с соизмеримыми аддитивной и мультипликативной погрешностью

8 Погрешности измерений

При выполнении практических измерений важно оценить их точность. Термин «точность измерений» не имеет строго определения и используется для качественного сравнения измерительных операций. Для количественной оценки применяют термин «погрешность результата измерений». Оценка погрешности измерений одна из важнейших задач обеспечения единства измерений.

Для практических целей рассматривают систематические и случайные погрешности, выраженные в абсолютной, относительной или приведённой форме.

Абсолютная погрешность Δ – отклонение результата измерения x от действительного $x_д$ значения измеряемой величины, выраженное в единицах измерения (абсолютная погрешность может быть положительной или отрицательной):

$$\Delta = x - x_д . \qquad (6)$$

Относительная погрешность δ – отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выраженное в процентах:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x_д} \cdot 100, \% . \qquad (7)$$

Приведённая погрешность γ – отношение абсолютной погрешности к нормирующему x_N значению, выраженное в процентах:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100, \%. \qquad (8)$$

Нормирующее значение выбирают в зависимости от вида и характера шкалы прибора и принимают равным:

- конечному значению рабочей части шкалы, если нулевая отметка на краю или вне рабочей части шкалы;
- сумме конечных значений шкалы (без учёта знаков), если нулевая отметка внутри шкалы;
- номинальному значению, если прибор предназначен для измерения отклонения величины от номинального значения.

В практике измерений для определения действительного значения к показанию прибора вводят *поправку* c, которая численно равна абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком:

$$\pm c = \mp \Delta . \qquad (9)$$

Поправку алгебраически складывают с результатом измерений:

$$x_д = x + (\pm c). \qquad (10)$$

В качестве действительного значения величины при многократных повторных измерениях принимают среднее арифметическое значение:

$$x_д = \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i . \qquad (11)$$

Для оценки отклонения отдельных результатов измерения относительно среднего определяют средне квадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} . \qquad (12)$$

Доверительным интервалом $\pm\Delta_Г$ называют интервал, который с заданной вероятностью, называемой **доверительной вероятностью** $P_Д$ накрывает истинное значение измеряемой величины.

При определении доверительных интервалов необходимо, прежде всего, учитывать, что закон распределения погрешностей, получаемых при проведении многократных измерений, при числе измерений в серии меньше 30, описывается не нормальным законом распределения, а так называемым законом распределения Стьюдента. И, в этих случаях, величину доверительного интервала обычно оценивают по формуле:

$$\Delta_Г = t(P_Д, n)\cdot\sigma_{\bar{x}}, \qquad (13)$$

где $t(P_Д, n)$ - так называемый коэффициент Стьюдента.

В таблице Приложения Б приведены значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$ в зависимости от заданной доверительной вероятности и числа проведенных наблюдений n. При выполнении измерений обычно задаются доверительной вероятностью 0,95 или 0,99.

В зависимости от характера проявления, причин возникновения, и возможностей устранения различают разновидности погрешности:

- *систематическая* – остаётся постоянной или изменяется закономерно при повторных измерениях одного и того же параметра;

- *случайная* – изменяется случайным образом при повторных измерениях одного и того же параметра. Значение случайной погрешности заранее не известно, возникает из-за множества не уточнённых факторов, может быть уменьшено обработкой результатов измерений;

- *грубая (промах)* – возникает из-за ошибок оператора, неисправности СИ, резких изменений условий измерений. Грубые погрешности выявляют и устраняют в результате обработки результатов измерений.

Систематическая погрешность имеет составляющие:

- *субъективная* – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора;

- *методическая* –составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений;

- *инструментальная* – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Систематическая погрешность может быть исключена или уменьшена за счёт устранения источников погрешности до начала измерений различными приемами (рандомизация, внесение известных поправок).

В ряде случаев определяют общую погрешность Δ_Σ как сумму систематической Δ_c и случайной Δ_0 погрешностей:

$$\Delta_\Sigma = \Delta_c + \Delta_0. \qquad (14)$$

В зависимости от изменения её величины погрешность измерения может быть:

- *аддитивная* – не изменяется во всём диапазоне измерения;

- *мультипликативная* – изменяется пропорционально измеряемой величине.

В большинстве случаев аддитивная и мультипликативная составляющие действуют одновременно.

В процессе эксплуатации СИ метрологические характеристики и параметры СИ претерпевают изменения. Эти изменения носят случайный монотонный или флуктуирующий характер и приводят к отказам. Важнейший параметр – *надёжность* - характеризует поведение СИ с течением времени и включает понятия:

- *стабильность* – способность сохранять МХ неизменными;

- *безотказность* – свойство непрерывно сохранять работоспособное состояния в течение некоторого времени;

- *долговечность* – возможность сохранения работоспособности до наступления предельного состояния;

- *ремонтопригодность* – приспособленность к поддержанию работоспособного состояния посредством технического обслуживания и ремонта;

- *сохраняемость* – свойство поддерживать показатели надёжности в течение и после хранения, транспортировки.

9 Правила округления и записи результата измерений

Нормирование пределов допустимых погрешностей средств измерений производится указанием значения погрешностей с одной или двумя значащими цифрами. По этой причине при расчете значений погрешностей измерений также должны быть оставлены только первые одна или две значащие цифры. Для округления используются следующие правила:

1. Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них более 2, и одной значащей цифрой, если первая из них 3 или более.

2. Показание прибора округляется до того же десятичного разряда, которым заканчивается округленное значение абсолютной погрешности.

3. Округление производится в окончательном ответе, промежуточные вычисления выполняют с одной-двумя избыточными цифрами.

Пример 1

- показание прибора 5,361 В;
- вычисленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}284$ В;
- округленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}26$ В;
- результат измерения $(5{,}36 \pm 0{,}26)$ В.

Пример 2

- показание прибора 35,67 мА;
- вычисленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}541$ мА;
- округленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}5$ мА;
- результат измерения $(35{,}7 \pm 0{,}5)$ мА.

Пример 3

- вычисленное значение относительной погрешности $\pm 1{,}268$ %;
- округленное значение относительной погрешности $\pm 1{,}3$ %.

Пример 4

- вычисленное значение относительной погрешности $\pm 0{,}367$ %;
- округленное значение относительной погрешности $\pm 0{,}4$ %.

10 Метрологическое обеспечение, службы и организации

Метрологическое обеспечение (МО) – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил, норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Основная тенденция развития МО – переход от обеспечения единства и требований точности измерений к принципиально новой задаче обеспечения качества измерений.

Качество измерений – совокупность свойств СИ, обеспечивающих получение в установленный срок результатов измерения с требуемой точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью.

Точность измерения – степень близости результата измерения к истинному значению измеряемой величины.

Правильность измерения – степень близости систематической погрешности измерения к нулю.

Достоверность измерения – степень близости случайной погрешности к нулю.

Сходимость результатов измерения – близость результатов двух испытаний, полученных одним методом, на идентичных установках, в одной лаборатории.

Воспроизводимость результатов измерения – близость результатов двух испытаний, полученных в разных лабораториях.

МО имеет научную, организационную, нормативную и техническую составляющие. Разработка и проведение мероприятий МО возложено на МС.

Функции МО - обеспечение измерений, испытаний, контроля в целом а также параметров:

- технологических процессов, производств, организаций;
- продукции на всех стадиях её жизненного цикла.

Основные *задачи* МО:

- установление рациональной номенклатуры измеряемых параметров и оптимальных норм точности измерений при контроле качества продукции;
- технико-экономическое обоснование выбора СИ, установление их рациональной номенклатуры;
- стандартизация, унификация и агрегатирование применяемой контрольно-измерительной техники;
- поверка, метрологическая аттестация и калибровка контрольно-измерительного и испытательного оборудования;
- проведение метрологической экспертизы проектов нормативной, конструкторской и технологической документации;
- подготовка работников соответствующих служб предприятий к выполнению контрольно-измерительных операций.

Государственное управление деятельности по обеспечению единства измерений в России осуществляет Федеральное агентство РФ по техническому регулированию и метрологии, в ведении которой находятся организации:

- *Государственная метрологическая служба* (ГМС);
- *Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения земли* (ГСВЧ);
- *Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов* (ГССО);
- *Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов* (ГСССД).

Основные задачи Федерального агентства РФ по техническому регулированию и метрологии в области метрологии:

- реализация государственной политики в сфере метрологии, установление и использование стандартов, эталонов, единиц величин;
- осуществление мер по защите прав потребителей и интересов государства в области контроля за соблюдением безопасности товаров (услуг);
- организация функционирования систем обеспечения единства измерений, аккредитации, сбора и анализа научно-технической информации;
- проведение государственного метрологического контроля;

Росстандарт сотрудничает с международными организациями по метрологии:

- *Международное бюро мер и весов* (МБМВ);
- *Генеральная конференция мер и весов* (ГКМВ);
- *Международный комитет мер и весов* (МКМВ);
- *Международная организация законодательной метрологии* (МОЗМ);
- *Международная конференция по измерительной технике и приборостроению* (ИМЕКО);

- *Международная организация по стандартизации* (ИСО) в составе технического комитета «Величины, единицы, обозначения и переводные множители»;

- *Международная электротехническая комиссия* (МЭК).

Проблемы метрологии в рамках СНГ решает Межгосударственный совет, созданный в соответствии с межправительственным документом «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации».

Государственная метрологическая служба (ГМС) – служба, которая несёт ответственность за метрологическое обеспечение измерений в стране на межотраслевом уровне и осуществляет государственный контроль и надзор. ГМС находится в подчинении Федерального агентства РФ по техническому регулированию и метрологии и имеет в своём составе:

- государственные научно-метрологические центры (ГНМЦ);

- территориальные органы ГМС.

Основные функции ГНМЦ:

- создание совершенствование, хранение, применение государственных эталонов единиц величин, сличение с международными эталонами;

- выполнение фундаментальных и прикладных научно - исследовательских и опытно-конструкторских работ в области метрологии;

- разработка и совершенствование научных, нормативных, организационных и экономических основ деятельности по метрологии;

- проведение государственных испытаний СИ;

- взаимодействие с метрологическими службами (МС) федеральных органов исполнительной власти, предприятий, организаций;

- информационное обеспечение предприятий и организаций по вопросам метрологии, подготовка и переподготовка.

Метрологические службы государственных органов управления РФ и юридических лиц – службы, создаваемые в соответствие с законом «Об обеспечении единства измерений» в органах государственного управления, на предприятиях и в организациях для реализации МО.

Создание МС обязательно в сферах государственного регулирования единства измерений перечисленных в приложении А.

МС юридических лиц - самостоятельные структурные подразделения, во главе с представителем администрации, аккредитованные органами Федеральной агентства РФ по техническому регулированию и метрологии. В состав МС входят калибровочные, поверочные лаборатории, подразделения по обслуживанию и ремонту СИ.

11 Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений

Государственное регулирование в области обеспечения единства измерений осуществляется в следующих формах:

1) утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;

2) поверка средств измерений;

3) метрологическая экспертиза;

4) государственный метрологический надзор;

5) аттестация методик (методов) измерений;

6) аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

12 Государственный метрологический надзор

Государственный метрологический надзор - контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований, а также в применении установленных законодательством Российской Федерации мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий.

Государственный метрологический надзор осуществляется за:

- соблюдением обязательных требований в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к измерениям, единицам величин, а также к эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений при их выпуске из производства, ввозе на территорию Российской Федерации, продаже и применении на территории Российской Федерации;

- наличием и соблюдением аттестованных методик (методов) измерений;

- соблюдением обязательных требований к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения.

Государственный метрологический надзор распространяется на деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих:

- измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений эталонов единиц величин, стандартных образцов и средств измерений, а также их ввоз на территорию Российской Федерации, продажу и применение на территории Российской Федерации;

- расфасовку товаров.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений эталонов единиц величин, стандартных образцов и средств измерений, а также их ввоз на территорию Российской Федерации и продажу, обязаны уведомлять о данной деятельности федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по государственному метрологическому надзору, не позднее трех месяцев со дня ее осуществления. Порядок уведомления устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государствен-

ной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Обязательные требования к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения при их расфасовке устанавливаются техническими регламентами. В технических регламентах также могут содержаться обязательные требования к оборудованию, используемому для расфасовки и контроля расфасовки, правила оценки соответствия отклонения количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения, обязательные требования к упаковке, маркировке или этикеткам фасованных товаров и правилам их нанесения.

Обязанность проведения проверок при осуществлении государственного метрологического надзора возлагается на должностных лиц федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственный метрологический надзор, и их территориальных органов.

Должностные лица, проводящие проверку, при предъявлении служебного удостоверения и распоряжения федерального органа исполнительной власти, осуществляющего государственный метрологический надзор, о проведении проверки вправе:

- посещать объекты (территории и помещения) юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в целях осуществления государственного метрологического надзора во время исполнения служебных обязанностей;

- получать документы и сведения, необходимые для проведения проверки.

Должностные лица, осуществляющие государственный метрологический надзор, обязаны:

- проверять соответствие используемых единиц величин единицам величин, допущенным к применению в Российской Федерации;

-проверять состояние и применение эталонов единиц величин, стандартных образцов и средств измерений в целях установления их соответствия обязательным требованиям;

-проверять наличие и соблюдение аттестованных методик (методов) измерений;

-проверять соблюдение обязательных требований к измерениям и обязательных требований к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения;

-проверять соблюдение установленного порядка уведомления о своей деятельности юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями;

- соблюдать государственную, коммерческую, служебную и иную охраняемую законом тайну.

При выявлении нарушений должностное лицо, осуществляющее государственный метрологический надзор, обязано:

- запрещать выпуск из производства, ввоз на территорию Российской Федерации и продажу предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений стандартных образцов и средств измерений неутвержденных типов или предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений стандартных

образцов и средств измерений, не соответствующих обязательным требованиям (за исключением выпуска из производства и ввоза на территорию Российской Федерации стандартных образцов или средств измерений, предназначенных для проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа);

- запрещать применение стандартных образцов и средств измерений неутвержденных типов или стандартных образцов и средств измерений, не соответствующих обязательным требованиям, а также неповеренных средств измерений при выполнении измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- наносить на средства измерений знак непригодности в случаях, когда средство измерений не соответствует обязательным требованиям;

- давать обязательные к исполнению предписания и устанавливать сроки устранения нарушений установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований;

- в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации, направлять материалы о нарушениях требований законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений в судебные и следственные органы, а также в федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий аккредитацию в области обеспечения единства измерений;

- применять иные меры в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Форма знака непригодности средств измерений и порядок его нанесения устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Руководитель проверенного предприятия на основе акта проверки обязан утвердить сроки и план организационно-технических мероприятий по устранению выявленных нарушений.

13 Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений - документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов или типа средств измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа;

Тип стандартных образцов или тип средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, подлежит обязательному утверждению. При утверждении типа средств измерений устанавливаются показатели точности, интервал между поверками средств измерений, а также методика поверки данного типа средств измерений.

Государственные испытания СИ – обязательные испытания СИ в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора с последующим утверждением их типа.

Решение об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений принимается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений, на основании положительных результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа.

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений удостоверяется свидетельством об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, выдаваемым федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений. В течение срока действия свидетельства об утверждении типа средств измерений интервал между поверками средств измерений может быть изменен только федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений.

На каждый экземпляр средств измерений утвержденного типа, сопроводительные документы к указанным средствам измерений и на сопроводительные документы к стандартным образцам утвержденного типа наносится знак утверждения их типа. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесения этого знака в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции средства измерений не позволяют нанести этот знак непосредственно на средство измерений, он наносится на сопроводительные документы.

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа проводятся юридическими лицами, аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений.

Сведения об утвержденных типах стандартных образцов и типах средств измерений вносятся в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие разработку, выпуск из производства, ввоз на территорию Российской Федерации, продажу и использование на территории Российской Федерации не предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений стандартных образцов и средств измерений, могут в добровольном порядке представлять их на утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений.

14 Поверка средств измерений

Поверка средств измерений (далее также - поверка) - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Поверку проводят в соответствии с методиками поверки, требованиями, изложенными в соответствующих метрологических инструкциях. Основной МХ, определяемой при поверке, является погрешность, величина которой не должна превышать допустимое значение. При поверке чаще всего используют методы:

- непосредственного сравнения измеряемых величин и величин, воспроизводимых рабочими эталонами;

- непосредственного сличения показаний поверяемого и эталонного приборов при одновременном измерении одной и той же величины.

Поверка бывает первичная, периодическая, внеочередная, экспертная.

Первичная поверка – проводится при выпуске прибора.

Периодическая поверка – выполняется через определённые промежутки времени в процессе эксплуатации или хранения прибора.

Внеочередная проверка – проходит до наступления срока периодической после длительного хранения, повторной настройки, ударного воздействия.

Экспертная поверка – организуется органом ГМС при возникновении спорных ситуаций по МХ, исправности, пригодности СИ к применению.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации - периодической поверке.

Требования к организации и проведению поверки СИ устанавливают правила ПР 50.2.006-94.

Применяющие средства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно представлять эти средства измерений на поверку.

Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Правительством Российской Федерации устанавливается перечень средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений государственными региональными центрами метрологии.

Результаты поверки средств измерений удостоверяются знаком поверки и (или) свидетельством о поверке. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесения знака поверки в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции или условия эксплуатации средства измерений не позволяют нанести знак поверки непосредственно на средство измерений, он наносится на свидетельство о поверке.

Порядок проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Сведения о результатах поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений проводящими поверку средств измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Правила ПР 50.2.011-94 устанавливают порядок ведения в РФ *Государственного реестра СИ*, который предназначен для:

- учёта выданных сертификатов об утверждении типа СИ;
- создания централизованного информационного фонда о СИ, допущенных к производству, выпуску в обращение и применению в РФ;
- учёта типовых программ испытаний СИ;
- организации информационного обслуживания заинтересованных лиц.

15 Калибровка средств измерений

Калибровка (калибровочные работы) – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений МХ и пригодности к применению СИ, не подлежащего государственному надзору.

Для проведения калибровки создана *Российская система калибровки* (РСК) – совокупность субъектов деятельности и калибровочных работ, направленных на обеспечение единства измерений в сферах, не подлежащих государственному регулированию обеспечения единства измерений. Такие СИ могут в добровольном порядке подвергаться калибровке.

Основные направления деятельности РСК:

- регистрация органов, осуществляющих аккредитацию МС юридических лиц на право проведения калибровочных работ;
- установление основных принципов и правил РСК;
- аккредитация МС юридических лиц на право проведения калибровки;
- проведение калибровочных работ;
- установление основных принципов и правил РСК;
- организационное, методическое и информационное обеспечение РСК;
- инспекционный контроль за проведением калибровочных работ.

Калибровка средств измерений выполняется с использованием эталонов единиц величин, прослеживаемых к государственным первичным эталонам соответствующих единиц величин, а при отсутствии соответствующих государственных первичных эталонов единиц величин - к национальным эталонам единиц величин иностранных государств.

Выполняющие калибровку средств измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели в добровольном порядке могут быть аккредитованы в области обеспечения единства измерений.

Результаты калибровки средств измерений, выполненной аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юри-

дическими лицами или индивидуальными предпринимателями, могут быть использованы при поверке средств измерений в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Организации, проводящие калибровочные работы, должны иметь:

- поверенные средства калибровки – эталоны, установки, другие СИ, применяемые для передачи размера единиц калибруемым СИ;
- документы, регламентирующие организацию и проведение калибровочных работ;
- квалифицированный персонал, помещение, удовлетворяющее нормативным требованиям.

Результаты калибровки удостоверяют калибровочным знаком, наносимым на СИ, свидетельством о калибровке, записью в эксплуатационных документах.

16 Метрологическая экспертиза

Метрологическая экспертиза - анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Метрологическая экспертиза проводится в обязательном (обязательная метрологическая экспертиза) или добровольном порядке.

Содержащиеся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требования к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений подлежат обязательной метрологической экспертизе. Заключения обязательной метрологической экспертизы в отношении указанных требований рассматриваются принимающими эти акты федеральными органами исполнительной власти. Обязательная метрологическая экспертиза содержащихся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений проводится государственными научными метрологическими институтами.

Обязательная метрологическая экспертиза стандартов, продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и других объектов проводится также в порядке и случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации. Указанную экспертизу проводят аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Порядок проведения обязательной метрологической экспертизы содержащихся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

В добровольном порядке может проводиться метрологическая экспертиза продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и дру-

гих объектов, в отношении которых законодательством Российской Федерации не предусмотрена обязательная метрологическая экспертиза.

17 **Анализ и оценка состояния измерений**

Анализ состояния измерений – анализ состояния измерений, испытаний и контроля на предприятии с целью установления соответствия достигнутого уровня МО определённым требованиям и разработка на этой основе предложений по его улучшению.

В процессе анализа устанавливают:

- влияние состояния измерений, контроля и испытаний на основные технико-экономические показатели деятельности предприятия;
- наличие и потребность в необходимых нормативных документах;
- оснащённость предприятия современным КИО и потребность в нём;
- состояние организационной структуры и деятельности МС, потребность в специалистах-метрологах;
- техническое и метрологическое состояние КИО, обеспеченность ремонтом, поверкой, калибровкой.

Работу по анализу состояния измерений на предприятии проводят под руководством МС федерального органа исполнительной власти, юридического лица. На предприятии анализ осуществляют добровольно с периодичностью раз в два года или в обязательном порядке при аттестации производства, сертификации систем качества, аккредитации испытательных и метрологических лабораторий. Результаты оформляют актом.

В случае необходимости установления соответствия условий выполнения измерений требованиям Российского законодательства в области обеспечения единства измерений проводят оценку состояния измерений по МИ 2427-97.

Эту оценку состояния измерений осуществляют для:

- установления соответствия достигнутого уровня метрологического обеспечения измерений современным требованиям;
- официального удостоверения наличия в лаборатории условий, необходимых для выполнения измерений (например, для получения лицензии на вид деятельности и т.п.).

При фиксировании в акте оценки наличия условий для выполнения измерений в закрепленной за лабораторией области деятельности, ответственные за проведение оценки, оформляет свидетельство о состоянии измерений на предприятии со сроком действия до 5 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практически во всех сферах деятельности человека интенсивно применяют результаты измерений, испытаний, исследований. Важность метрологической деятельности в стране подтверждена тем, что Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений», принят в пакете с законами «О защите прав потребителей». ФЗ «Об обеспечении единства измерений» устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в стране, регламентирует отношения государственных органов управления с юридическими и физическими лицами по вопросам, связанным с измерениями.

В экономически развитых странах расходы на операции, связанные с измерениями, достигают 15% затрат общественного труда. Перспективные направления развития метрологии составляют разработка принципиально новых средств измерений, улучшение метрологических характеристик и методик выполнения измерений, совершенствование эталонной базы. Широкое применение получают цифровые методы обработки результатов измерений. Намечен переход к эталонам единиц физических величин, основанным на квантовых эффектах. Такие эталоны не подвержены влиянию атмосферных условий, времени, географической широты местности.

Метрологические организации и службы Российской Федерации под руководством Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии ведут активную работу по совершенствованию законодательной базы метрологии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нормативно-правовые основы метрологии.
2. Физические свойства, величины. Измерение ФВ.
3. Системы единиц физических величин. Система SI.
4. Виды, методы измерений.
5. Средства измерений.
6. Метрологические характеристики СИ.
7. Погрешности измерений.
8. Метрологическое обеспечение, службы и организации.
9. Международные организации по метрологии.
10. Поверка, калибровка СИ.
11. Государственный метрологический надзор.
12. Государственные испытания, утверждение типа СИ.
13. Метрологическая экспертиза.
14. Анализ и оценка состояния измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2010. – 560 с.: ил.

2. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт-Издат, 2009. – 335 с.

3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2010. - 464 с.: ил.

4. Яблонский О.П., Иванова В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник. – Ростов на/Д: Феникс, 2010. – 448 с.

5. Радкевич Я.М., Лактионов Б.И., Схиртладзе А.Г Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов - 2-е изд., доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 791 с.

6. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 711 с.

7. Никифоров А.Д., Бакиев Т.А. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Высш. Школа, 2002. – 422 с. : ил.

8. Басаков М.И. Сертификации продукции и услуг с основами стандартизации и метрологии: Учебное пособие. Издание 2-е, испр. и доп. – Ростов на /Д: издательский центр «МарТ», 2002. – 256 с.

9. Ранеев Г.Г., Тарасенко А.П. Методы и средства измерений: Учебник для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 336 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений

Сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, на которые установлены обязательные требования и которые выполняются при:

1) осуществлении деятельности в области здравоохранения;

2) осуществлении ветеринарной деятельности;

3) осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды;

4) осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях;

5) выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда;

6) осуществлении производственного контроля за соблюдением установленных законодательством Российской Федерации требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта;

7) осуществлении торговли и товарообменных операций, выполнении работ по расфасовке товаров;

8) выполнении государственных учетных операций;

9) оказании услуг почтовой связи и учете объема оказанных услуг электросвязи операторами связи;

10) осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства;

11) осуществлении геодезической и картографической деятельности;

12) осуществлении деятельности в области гидрометеорологии;

13) проведении банковских, налоговых и таможенных операций;

14) выполнении работ по оценке соответствия промышленной продукции и продукции других видов, а также иных объектов установленным законодательством Российской Федерации обязательным требованиям;

15) проведении официальных спортивных соревнований, обеспечении подготовки спортсменов высокого класса;

16) выполнении поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти;

17) осуществлении мероприятий государственного контроля (надзора).

К сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений относятся также измерения, предусмотренные законодательством Российской Федерации о техническом регулировании.

Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется также на единицы величин, эталоны единиц величин, стандартные образцы и средства измерений, к которым установлены обязательные требования.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$.

Таблица А.1 - Значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$

n	$P_Д$							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
2	1,00	1,38	1,96	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66
3	0,82	1,06	1,34	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93
4	0,77	0,98	1,25	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84
5	0,74	0,94	1,19	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60
6	0,73	0,92	1,16	1,48	2,02	2,62	3,37	4,03
7	0,72	0,91	1,13	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71
8	0,71	0,90	1,12	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50
9	0,71	0,89	1,11	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36
10	0,70	0,88	1,10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25
16	0,69	0,87	1,07	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95
25	0,69	0,86	1,06	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ (КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

ЧАСТЬ 2

«СТАНДАРТИЗАЦИЯ»

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 05.10. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 13.10. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..4
1 Правовые основы стандартизации…….....5
2 Основные понятия……...…5
3 Цели, задачи стандартизации…….…...7
4 Принципы стандартизации…….…...8
5 Национальный орган Российской Федерации по стандартизации……....9
6 Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов…..……...11
7 Национальная система стандартизации……..…13
8 Международные, региональные организации по стандартизации……..…19
9 Информационное обеспечение стандартизации…….23
10 Работы по стандартизации……....24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..…….29
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ…….……...29
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…….…..29
Приложение А Перечень систем стандартов..…….…30
Приложение Б Нормативные документы по стандартизации……....31
Приложение В Общероссийские классификаторы…….33

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития мирового сообщества характерен:

- высокими темпами интенсификации производства;
- применением широкого спектра машин, аппаратов, приборов, технологической оснастки, оборудования и инструмента;
- использованием широкой номенклатуры новых веществ, новейших материалов и современных технологий;
- применением локальных и глобальных информационных систем.
- расширением международных экономических и торговых связей.

В этих условиях в экономически развитых странах уделяют огромное внимание стандартизации как важнейшему направлению совершенствования технического уровня и качества продукции на всех стадиях её жизненного цикла - научные разработки, проектирование, производство, упаковка и маркировка, хранение, транспортировка, реализация, эксплуатация, утилизация.

Стандартизация охватывает разработку и применение норм, правил, которые отражают действие объективных технико-экономических законов и оказывают в государственном и мировом масштабах существенное позитивное влияние:

- развитие всех отраслей экономики;
- совершенствование управления экономикой и предприятиями;
- увеличение промышленного производства и рост ВВП;
- управление качеством продукции, квалификацией персонала;
- улучшение использования основных фондов, природных богатств;
- разработку и внедрение энергосберегающих, ресурсосберегающих, малоотходных технологий;
- состояние окружающей среды;
- расширение международных экономических связей и торговли.

Законодательную основу стандартизации в Российской Федерации составляют федеральные законы:

- «О защите прав потребителей» от 07.02.92;
- «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008;
- «О техническом регулировании» от 27.12.02;
- отраслевого характера в части, касающейся стандартизации.

Дальнейшее развитие экономики России связано с развитием промышленного производства, расширением международной торговли и экономического сотрудничества, увеличением количества и технического совершенства товаров, расширением спектра и повышением качества услуг на базе широкого применения международных и национальных стандартов.

Стандартизация - деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

1 Правовые основы стандартизации

Отношения в области стандартизации регулируют и обеспечивают законодательные, нормативные и другие акты РФ:

- Федеральный закон «О техническом регулировании»;
- закон РФ «О защите прав потребителей»;
- Федеральный закон РФ «Об обеспечении единства измерений»;
- федеральные законы отраслевого характера;
- указы Президента РФ;
- нормативные акты (постановления, распоряжения) Правительства РФ;
- подзаконные акты, направленные на решение социально - экономических задач, предусматривающих использование стандартизации;
- приказы национального органа РФ по стандартизации.

В целях усиления роли стандартизации в научно-техническом прогрессе, повышения качества продукции, экономии материально - энергетических ресурсов в РФ действует *система* Стандартизации в Российской Федерации.

Система – комплекс взаимоувязанных правил и положений, определяющих:

- цели и задачи стандартизации;
- структуру органов, подразделений по стандартизации, их права и обязанности;
- организацию и методику проведения работ по стандартизации во всех отраслях;
- порядок разработки, оформления, издания, внедрения стандартов и другой нормативно-технической документации, формы контроля их соблюдения.

ГОСТ Р 1.0-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.

ГОСТ Р 1.2-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены.

ГОСТ Р 1.4 -2004 Стандарты организаций. Общие положения.

ГОСТ Р 1.5 -2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ Р 1.8 -2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты межгосударственные. Правила проведения в Российской Федерации работ по разработке, применению, обновлению и прекращению применения

ГОСТ Р 1.10 -2004 Стандартизация в Российской Федерации. Правила стандартизации и рекомендации по стандартизации. Порядок разработки, утверждения, изменения, пересмотра и отмены.

ГОСТ Р 1.12-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения.

2 Основные понятия

Гармонизация стандарта – приведение его содержания в соответствие с другим стандартом (региональным, международным).

Государственный стандарт (ГОСТ Р) – национальный стандарт, принятый федеральным органом исполнительной власти РФ по стандартизации или строительству.

Классификатор – документ, содержащий систематизированный перечень кодов и наименований объектов классификации и классифицированных группировок, разработанный и утверждённый в установленном порядке, обязательный для применения на различных уровнях.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией по стандартизации.

Методические инструкции (МИ) – нормативные документы методического содержания, разработанные организациями, подведомственными национальному органу по стандартизации.

Национальный стандарт – стандарт, утверждённый национальным органом по стандартизации.

Нормативный документ – документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, подзаконный акт, принятый Правительством РФ.

Область стандартизации – совокупность объектов стандартизации.

Объект стандартизации – продукция, работа, процесс или услуга, для которой разрабатывают требования, характеристики, параметры или правила.

Правила (ПР) – нормативный документ, устанавливающий обязательные для применения организационные или общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ, в том числе межгосударственные (ПМГ).

Проект стандарта – предлагаемый разработчиком проект нормативного документа, предназначенный для широкого обсуждения, голосования и принятия в качестве стандарта.

Региональный стандарт – стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации и доступный широкому кругу пользователей.

Регламент – документ, содержащий обязательные правовые нормы, принятый органом исполнительной власти.

Рекомендации (Р) – нормативный документ, содержащий добровольные для применения организационные или общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ, в том числе межгосударственные (РМГ).

Руководящие документы (РД) – нормативные документы методического содержания, разработанные организациями, подведомственными национальному органу по стандартизации.

Стандарт - документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции, условия выполнения работ или оказания услуг. Стандарт может со-

держать требования к терминологии, маркировке, этикеткам и правилам их нанесения.

Стандарт научно-технических, инженерных обществ (СТО) - стандарт, разработанный общественным объединением.

Технические условия (ТУ) - нормативный документ, устанавливающий технические требования, которым должна удовлетворять продукция, процесс или услуга.

Технический регламент (ТР) – документ, содержащий технические требования непосредственно или путём ссылки на стандарт, технические условия, либо путём включения содержания этих документов.

3 Цели, принципы, задачи стандартизации

Стандартизация как деятельность по установлению правил и характеристик в сферах производства и обращения продукции имеет общие и конкретные цели.

Стандартизация осуществляется *в целях:*

- повышение уровня безопасности жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества, объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, повышение уровня экологической безопасности, безопасности жизни и здоровья животных и растений;
- обеспечение конкурентоспособности и качества продукции (работ, услуг), единства измерений, рационального использования ресурсов, взаимозаменяемости технических средств (машин и оборудования, их составных частей, комплектующих изделий и материалов), технической и информационной совместимости, сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных, проведения анализа характеристик продукции (работ, услуг), исполнения государственных заказов, добровольного подтверждения соответствия продукции (работ, услуг);
- содействие соблюдению требований технических регламентов;
- создание систем классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, систем каталогизации продукции (работ, услуг), систем обеспечения качества продукции (работ, услуг), систем поиска и передачи данных, содействие проведению работ по унификации.

Конкретные цели стандартизации относят к:

- определённой области материальной, нематериальной деятельности;
- отрасли производства продукции, оказания услуг;
- предприятию, фирме;
- виду продукции.

4 Принципы стандартизации

Стандартизацию осуществляют в соответствии с *принципами*:

- добровольного применения стандартов;
- максимального учёта при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;

- применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта, за исключением случаев, когда это невозможно вследствие несоответствия требований международных стандартов климатическим и географическим особенностям РФ, техническим и (или) технологическим особенностям или по иным основаниям, либо РФ выступала против принятия международного стандарта или отдельного его положения;

- недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей стандартизации;

- недопустимости установления таких стандартов, которые противоречат требованиям ТР;

- обеспечения условий для единообразного применения стандартов.

5Документы в области стандартизации

К *документам по стандартизации*, используемым в РФ, относят:

- национальные стандарты;
- правила стандартизации;
- нормы и рекомендации в области стандартизации;
- применяемые в установленном порядке классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- стандарты организаций;
-своды правил.

Объектами национальных стандартов могут быть:

- характеристики продукции;
- правила выполнения технических документов;
- правила осуществления процессов постановки на производство, хранения, перевозок, реализации, утилизации;
- правила оказания услуг, выполнения работ;
- терминология в различных областях деятельности;
- требования к маркировке продукции и тары, способам упаковки;
- принципы, нормы, правила в области организации деятельности предприятий.

Объектами стандартов организаций могут быть:

- характеристики продукции;
- принципы, нормы, правила в области различных сторон деятельности предприятия, организации.

Важнейшие, перспективные задачи стандартизации:

- обеспечение взаимопонимания между разработчиком, изготовителем, продавцом и заказчиком, покупателем, потребителем;
- установление оптимальных требований к номенклатуре, качеству продукции в интересах потребителя, государства;
- определение требований по совместимости (конструктивной, электрической, электромагнитной, программной, информационной) и взаимозаменяемости продукции;

- унификация на основе применения параметрических и типоразмерных рядов, базовых конструкций, конструктивно-унифицированных узлов, блочно-модульных составных частей изделий;

- нормативное обеспечение межгосударственных и национальных социально - экономических и научно - технических проектов, инфраструктурных комплексов (транспорт, связь, информационные системы, оборона страны, охрана окружающей среды, безопасность населения);

- определение метрологических норм, правил, положений, требований;

- установление требований к современным ресурсосберегающим и малоотходным технологиям;

- создание и ведение систем классификации, кодирования;

- разработка, внедрение и ведение систем каталогизации для обеспечения потребителей информацией о номенклатуре и технических характеристиках товаров, услуг, процессов;

- содействие выполнению законодательства РФ средствами технического регулирования.

В зависимости от того, участники какого географического, экономического, политического региона мира принимают стандарт, различают уровни стандартизации:

- *международный*;
- *региональный*;
- *национальный*;
- *административно-территориальный*.

В мировом сообществе имеет место тенденция гармонизации национальных стандартов с международными стандартами, которая отвечает интересам экономически развитых и развивающихся стран.

5 Национальный орган Российской Федерации по стандартизации

Национальный орган по стандартизации – *Росстандарт (ранее Федеральное агентство Российской Федерации по техническому регулированию и метрологии, а до 2004 г. Госстандарт РФ)*, входящее в состав Министерства промышленности и энергетики РФ, - является органом государственной исполнительной власти по техническому регулированию, осуществляющим межотраслевую координацию и функциональное регулирование в области технического регулирования, стандартизации, оценки соответствия, метрологии.

В структуру *Росстандарта* входят управления:

- метрологии и надзора;
- технического регулирования и стандартизации;
- развития, информационного обеспечения и аккредитации;
- экономики, бюджетного планирования и госсобственности;
- международного и регионального сотрудничества.

Основные направления деятельности национального органа по стандартизации:

- научно-техническое;

- организационное;
- представительское.

Координацию работ по техническому регулированию, стандартизации, оценке соответствия в области строительства, архитектуры, производства строительных материалов и в жилищно-коммунальном хозяйстве осуществляет *Федеральное агентство Российской федерации по строительству и ЖКХ* (до 2004 г. Госстрой РФ).

Основные функции национального органа по стандартизации:
- утверждение национальных стандартов;
- принятие программ разработки национальных стандартов;
- обеспечение соответствия национальной системы стандартизации интересам экономики, состоянию материально-технической базы;
- содействие научно-техническому прогрессу;
- осуществление учёта национальных стандартов, правил стандартизации, норм и рекомендаций, обеспечение их доступности заинтересованным лицам;
- создание технических комитетов (ТК) по стандартизации и координация их деятельности;
- организация опубликования национальных стандартов, их распространение;
- участие в работе, представление прав и защита интересов РФ в международных организациях при создании международных стандартов;
- утверждение знака соответствия национальным стандартам.

Национальному органу по стандартизации предоставлены права:
- координации деятельности государственных органов управления, касающейся технического регулирования, стандартизации, оценки соответствия, метрологии;
- проведения государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР;
- принятия мер по запрещению выпуска и реализации продукции, изготовленной с нарушением требований ТР;
- организации профессиональной подготовки и переподготовки кадров в области технического регулирования;
- издания научно-технических журналов, справочников и другой литературы по вопросам технического регулирования и управления качеством.

ТК - постоянный рабочий орган *Росстандарта* в области стандартизации, специализированный по объектам. В ТК на паритетных началах и добровольной основе входят представители:
- федеральных органов исполнительной власти;
- научных организаций, проектно-конструкторских учреждений;
- производственных предприятий, фирм;
- инженерных и научных обществ;
- объединений предпринимателей и обществ по защите прав потребителей.

Основные функции ТК:
- определение концепций развития стандартизации;
- составление проектов новых стандартов и обновление действующих;

- оказание научно-методической помощи организациям, разрабатывающим стандарты и применяющим нормативные документы;

- привлечение к деятельности по стандартизации союзов предпринимателей и обществ потребителей;

- проведение гармонизации отечественных стандартов с международными стандартами;

- подготовка обоснованных позиций РФ для голосования по проектам стандартов в международных организациях;

- проведение и участие в работе заседаний международных организаций по стандартизации.

Заседания ТК по стандартизации являются открытыми.

Материалы заседаний подлежат опубликованию в аналоговой форме (специальные печатные издания, средства массовой информации) и электронно-цифровой форме (цифровые информационные системы общего пользования), доступны для заинтересованных лиц.

6 Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов

Государственный контроль (надзор) за соблюдением ТР осуществляют:

- федеральные органы исполнительной власти;

- органы исполнительной власти субъектов РФ;

- государственные учреждения, уполномоченные в соответствии с законодательством РФ;

- должностные лица органов государственного контроля (надзора);

- государственные инспекторы. Главный государственный инспектор – руководитель *Росстандарта*.

Государственный контроль (надзор) должностные лица осуществляют путём проведения плановых и внеплановых проверок. При составлении планов учитывают:

- целевые задания и приоритетные направления проверок;

- информацию потребителей, наличие рекламаций;

- сведения реестров о продукции, прошедшей сертификацию.

Объекты государственного контроля (надзора):

- продукция;

- процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

Проведение проверок органы государственного контроля (надзора) осуществляют с применением правил и методов исследований (испытаний) и измерений, разработанных в соответствующих ТР.

Органы государственного контроля (надзора) имеют право:

- требовать от изготовителя (продавца) предъявления декларации о соответствии или сертификата соответствия требованиям ТР, если применение таких документов предусмотрено соответствующим ТР;

- осуществлять мероприятия государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР в порядке, установленном законодательством;

- принимать мотивированное решение о запрете передачи продукции на реализацию, полном или частичном (в зависимости от характера обнаруженных нарушений) приостановлении процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации, если иными мерами невозможно устранить нарушения требований ТР;

- приостановить или прекратить действие декларации о соответствии или сертификата соответствия;

- привлекать изготовителя (исполнителя, продавца) к ответственности, предусмотренной законодательством РФ (если нарушения привели к причинению вреда здоровью человека, то к виновным может быть применено уголовное наказание, предусмотренное статьёй 238 УК РФ);

- принимать иные предусмотренные законодательством РФ меры в целях недопущения вреда.

Органы государственного контроля (надзора) обязаны:

- проводить в ходе мероприятий по государственному контролю (надзору) разъяснительную работу о техническом регулировании, информировать изготовителя (продавца) о существующих ТР;

- соблюдать коммерческую или иную охраняемую законом тайну;

- соблюдать порядок осуществления мероприятий по государственному контролю (надзору) и оформления результатов проверок;

- принимать на основании результатов проверок меры по устранению последствий нарушений требований ТР;

- направлять информацию о несоответствии продукции требованиям ТР изготовителю (продавцу), покупателю (потребителю).

Таким образом, в зависимости от характера нарушений изготовителем (продавцом) требований ТР орган государственного контроля (надзора) принимает решение:

- выдать предписания об устранении нарушения;

- запретить полностью или частично передачу продукции в обращение;

- приостановить или прекратить действие декларации о соответствии или сертификата соответствия.

За нарушение требований ТР, неисполнение предписаний органа государственного контроля (надзора) изготовитель (исполнитель, продавец) несёт ответственность в соответствии с законодательством РФ.

Если в результате несоответствия продукции требованиям ТР причинён вред жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений или возникла угроза причинения такого вреда, то виновный обязан возместить причинённый вред и принять меры в целях недопущения такого вреда. Обязанность возместить причинённый вред не может быть ограничена договором или заявлением одной из сторон.

Изготовитель (исполнитель, продавец), которому стало известно о несоответствии выпущенной в обращение продукции требованиям ТР, обязан сообщить об

этом в орган государственного контроля (надзора) в течение десяти дней с момента получения такой информации.

Лица, которые не имеют отношения к изготовлению и реализации продукции (приобретатель, потребитель), вправе направлять информацию о несоответствии продукции требованиям ТР в орган государственного контроля (надзора) лично или письменно (индивидуально или коллективно).

Изготовитель (продавец) в течение десяти дней с момента получения информации о несоответствии продукции требованиям ТР обязан провести проверку достоверности полученной информации. При подтверждении достоверности полученной информации изготовитель (продавец) обязан:

- разработать программу мероприятий по предотвращению причинения вреда. Программа должна включать в себя мероприятия по информированию приобретателя о наличии угрозы причинения вреда;

- устранить недостатки, при необходимости объявить отзыв продукции. Устранение недостатков, отзыв продукции, доставка продукции к месту устранения недостатков и обратно осуществляет изготовитель (продавец);

- незамедлительно приостановить производство и реализацию продукции, отозвать продукцию и возместить приобретателю (потребителю) убытки в случае невозможности устранить причины причинения вреда.

В случае невыполнения изготовителем (продавцом) программы мероприятий по предотвращению причинения вреда орган государственного контроля (надзора), а также иные лица вправе обратиться в суд с иском о *принудительном отзыве продукции с рынка.* При удовлетворении иска суд обязывает ответчика совершить определённые действия по отзыву продукции с рынка и довести решение суда не позднее одного месяца со дня его вступления в силу до сведения приобретателя через средства массовой информации или иным способом.

В случае если ответчик (изготовитель, продавец) не исполнит решение суда в установленный срок, истец (приобретатель, потребитель) вправе совершить эти действия за счёт ответчика с взысканием с него расходов.

Орган по сертификации, аккредитованная испытательная лаборатория (центр), должностные лица, эксперты несут ответственность за выпуск в обращение продукции, не соответствующей требованиям ТР, в соответствии с законодательством РФ и договором о проведении сертификации.

7 Национальная система стандартизации

Основу национальной системы стандартизации РФ составляют:

- национальные стандарты;

- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, правила их разработки и применения.

Национальные стандарты:

- разрабатываются в порядке, установленном законодательством РФ;

- утверждаются национальным органом по стандартизации в соответствии с правилами, нормами, рекомендациями в области стандартизации;

- применяются на добровольной основе.

Национальные стандарты применяются равным образом и в равной мере независимо от:

- страны и места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг;
- видов или особенностей сделок и лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями.

Применение национального стандарта подтверждается знаком соответствия национальному стандарту.

Общероссийские классификаторы:

- разрабатываются, принимаются, вводятся в действие, ведутся и применяются в порядке, установленном Правительством РФ;
- содержат технико-экономическую и социальную информацию, в том числе в области прогнозирования, статистического учёта, банковской деятельности, налогообложения;
- включают информацию в области межведомственного информационного обмена, создания информационных систем и ресурсов.

Национальный орган по стандартизации разрабатывает и утверждает программу разработки национальных стандартов, обеспечивает доступность программы заинтересованным лицам.

Порядок разработки и утверждения национальных стандартов установлен законодательством РФ.

Разработчиком национального стандарта может быть любое лицо.

Уведомление о разработке национального стандарта направляется в национальный орган по стандартизации и публикуется в печатном издании федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию и в информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме. Уведомление должно содержать информацию о имеющихся в проекте национального стандарта положениях, отличающихся от положений соответствующих международных стандартов.

Разработчик дорабатывает проект национального стандарта с учётом полученных в письменной форме замечаний, проводит публичное обсуждение проекта, составляет перечень замечаний и результатов их обсуждения, публикует уведомление о завершении обсуждения. Срок публичного обсуждения проекта национального стандарта не может быть менее двух месяцев.

Проект национального стандарта одновременно с перечнем замечаний представляется разработчиком в технический комитет по стандартизации, который организует проведение экспертизы проекта, готовит мотивированное предложение об утверждении или отклонении проекта, предаёт перечень замечаний и результаты экспертизы в национальный орган по стандартизации.

Национальный орган по стандартизации на основании документов, представленных техническим комитетом, принимает решение об утверждении или отклонении национального стандарта. Уведомление об утверждении национального стандарта подлежит опубликованию в печатном издании национального органа по стан-

дартизации и информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме в течение одного месяца.

Работы по национальной стандартизации под руководством *Росстандарта* ведут:

- научно-исследовательские институты (НИИ);
- конструкторские бюро, опытно-экспериментальные базы НИИ;
- федеральные, региональные, областные центры по стандартизации и метрологии (ЦМС), по сертификации (РОСТЕСТ, г. Москва, УРАЛТЕСТ, г. Екатеринбург);
- конструкторско-технологические, научно-исследовательские подразделения (отделы, бюро, лаборатории, группы) по стандартизации на предприятиях.

НИИ национального органа РФ по стандартизации:

ВНИИКИ – Всероссийский НИИ классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству, г. Москва;

ВНИИ Стандарт – Всероссийский НИИ стандартизации, г. Москва;

ВНИИС – Всероссийский НИИ сертификации, г. Москва;

ВНИИНМАШ – Всероссийский НИИ стандартизации и сертификации в машиностроении, г. Москва;

ВНИИМС – Всероссийский НИИ метрологической службы, г. Москва;

ВНИЦСМВ – Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации, информации, сертификации сырья, материалов, веществ, г. Москва;

ВНИИМ им. Д.И.Менделеева – Всероссийский НИИ метрологии, г. Санкт-Петербург;

УНИИМ – Уральский НИИ метрологии, г. Екатеринбург.

В структуру национального органа РФ по стандартизации входят опытные заводы, издательство, типографии, магазины, учебные заведения. На базе территориальных представительств Национального органа РФ по стандартизации работают органы по оценке соответствия продукции и услуг, испытательные лаборатории, поверочные и калибровочные центры.

Подразделения по стандартизации на предприятиях осуществляют следующие функции:

- составляют годовые и перспективные планы работ по государственной и отраслевой стандартизации, передают их в головную организацию по стандартизации;
- проводят работы по стандартизации, унификации продукции и технологической оснастки;
- определяют технико-экономическую эффективность внедрения стандартов в проектирование и производство;
- осуществляют систематический контроль внедрения и соблюдения стандартов, технических условий при проектировании и производстве продукции;
- пересматривают устаревшие, разрабатывают новые стандарты предприятий и технические условия.

Другие субъекты хозяйственной деятельности (научно-технические общества, инженерные общества) создают в своей структуре специальные подразделения, занимающиеся разработкой нормативно-технической документации по стандартизации и управлению качеством.

Совершенствование стандартизации на предприятиях позволяет:

- улучшить организацию и культуру производства;
- увеличить производительность оборудования и производительность труда персонала;
- улучшить качество конструкторской документации;
- повысить качество, снизить себестоимость продукции;
- сократить номенклатуру материалов, полуфабрикатов, комплектующих.

В зависимости от того, участники какого субъекта деятельности разрабатывают и принимают стандарт, различают *категории* стандартов:

- *стандарты международные* (ИСО);
- *стандарты государственные* (ГОСТ Р);
- *технические условия* (ТУ);
- *стандарты общественных объединений, научно-технических и инженерных обществ* (СТО).

Международный стандарт – стандарт, который разрабатывает и выпускает международная организация по стандартизации с целью содействия взаимному сотрудничеству в интеллектуальной, научно-технической, экономической деятельности, в области охраны окружающей среды и в торговле. Например, основополагающий стандарт ИСО 14001 «Системы управления в области охраны окружающей среды. Руководство по применению». Стандарты ИСО имеют рекомендательный характер. Национальный орган РФ по стандартизации допускает применение стандартов ИСО:

- в качестве ГОСТ Р без изменений в тексте;
- с дополнениями, учитывающими российские требования, например, государственный стандарт ГОСТ Р/ИСО 14001 «Системы управления качеством окружающей среды. Общие требования и рекомендации по использованию».

Национальный стандарт – стандарт разрабатываемый для всех предприятий, организаций, учреждений страны независимо от форм собственности и подчинения, граждан занимающихся индивидуальной трудовой деятельностью, министерств (ведомств), органов местного и государственного управления РФ. Разработку ГОСТ Р ведут ТК по стандартизации в составе *Росстандарта*. После утверждения *Росстандарта* присваивают индекс, в котором указан номер и год утверждения или пересмотра - четыре последние цифры (например, государственный стандарт ГОСТ Р 51685-2000 на геометрические размеры железнодорожных рельсов).

Объектами ГОСТ Р являются:

- организационно-методические и общетехнические объекты;
- совместимые программные и технические средства информационных технологий;
- справочные материалы, классификация и кодирование информации;
- составляющие элементы крупных народно-хозяйственных комплексов (транспорт, энергосистема, связь, оборона, охрана окружающей среды);
- содержание государственных научно-технических и социально-экономических целевых программ и проектов;
- продукция для удовлетворения внутренних потребностей населения и поставок на экспорт;

- достижения науки и техники, позволяющие предприятию, государству обеспечить конкурентоспособность продукции;

- система конструкторской и технологической документации, документация в области управления и организации производства.

Технические условия – нормативный документ, который содержит технические требования, определяющие показатели качества продукции в соответствии с условиями её эксплуатации, обслуживания, ремонта. ТУ разрабатывают и применяют субъекты хозяйственной деятельности независимо от форм собственности и подчинения, когда ГОСТ и ОСТ создавать нецелесообразно, или необходимо дополнить или ужесточить установленные ими требования (например, нормативный документ ТУ 14-2Р-351-2001 на технические требования в отношении стальных колец для автомобильных, башенных кранов и других машин). Объектом ТУ может быть продукция разовой поставки, выпускаемая малыми партиями, а также произведения художественных промыслов. В случае, когда на ТУ нет ссылок в контрактах или договорах, ТУ считается не нормативным, а техническим документом.

Стандарты общественных объединений, научно-технических и инженерных обществ – нормативные документы, которые содержат требования к принципиально новым видам продукции, методам измерений, нетрадиционным технологиям и принципам управления производством. СТО разрабатывают и утверждают общественные объединения с целью распространения перспективных результатов научно-технических исследований (например, стандарт СТО АСЧМ 20-93 Ассоциации «Черметстандарт» на сортамент профилей двутавровых широкополочных балок с параллельными гранями полок).

В зависимости от характера объектов стандартизации различают *виды* стандартов:

- *стандарты основополагающие*;

- *стандарты на продукцию, услуги*;

- *стандарты на процессы*;

- *стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа)*.

Основополагающие стандарты – стандарты, которые устанавливают организационные принципы, положения, требования, правила и нормы, имеющие общий характер, с целью содействия взаимопониманию, взаимодействию и техническому единству в различных областях науки, техники и производства. Основополагающие стандарты объединяют взаимосвязанные стандарты, имеющие общую целевую направленность, имеют комплексный характер (ЕСКД, ЕСТД).

Стандарты на продукцию, услуги – стандарты, которые устанавливают требования к группам однородной продукции, услуг или конкретной продукции, услугам (стандарты общих технических требований, параметров и размеров, типов конструкции, сортамента, правил приёмки).

Стандарты на работы (процессы) – стандарты, которые устанавливают требования к конкретным видам работ (процессов), осуществляемым на разных стадиях жизненного цикла продукции: разработка, проектирование, производство, эксплуатация, потребление, хранение, транспортирование, обслуживание, ремонт, утилизация.

Особое место занимают экологические требования, которые включают: условия применения потенциально опасных для окружающей среды материалов, параметры очистного оборудования, правила выбросов в атмосферу и сточные воды.

Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) - стандарты, которые устанавливают порядок отбора проб (образцов) для испытаний, методы контроля (испытаний, измерений, анализа) характеристик определённой группы продукции с целью обеспечить единство оценки показателей качества. Критерии объективности метода контроля – сходимость и воспроизводимость результатов. Стандартизации подлежат: средства контроля, порядок подготовки и проведения контроля, правила обработки результатов, допустимая погрешность метода. В стандартах предусмотрены различные виды испытаний: повседневные, типовые, периодические.

8 Международные, региональные организации по стандартизации

Главная международная организация по стандартизации ИСО создана в 1946г. СССР был одним из основателей организации, является постоянным членом руководящих органов. РФ входит в ИСО как правоприемник СССР.

Цель деятельности ИСО:

- содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для облегчения международного товарообмена и взаимопомощи, расширение сотрудничества в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности.

Практическая деятельность ИСО направлена на:

- облегчение координации и унификации национальных стандартов;
- подготовку рекомендаций национальным организациям по стандартизации;
- разработку стандартов ИСО;
- организацию обмена информацией в области стандартизации;
- сотрудничество с другими международными организациями по стандартизации и смежным проблемам (сертификация, метрология).

Объекты стандартизации ИСО:

- основополагающие стандарты;
- машиностроение, химия;
- неметаллические материалы, руды, металлы;
- информационная техника;
- сельское хозяйство;
- строительство, специальная техника;
- охрана здоровья, медицина;
- окружающая среда;
- упаковка и транспортировка товаров.

Организационно в ИСО входят руководящие и рабочие органы.

Руководящие органы - Генеральная ассамблея, Совет, комитеты Совета, Технические бюро.

Рабочие органы - технические комитеты, подкомитеты, технические консультативные группы.

Совет руководит работой ИСО в перерывах между сессиями Генеральной ассамблеи. Решение принимается большинством голосов членов Совета. Совету ИСО подчиняются комитеты:

- *ПЛАКО* – техническое бюро по планированию и организации работы;
- *СТАКО* – комитет по изучению научных принципов стандартизации;
- *КАСКО* – комитет по оценке соответствия продукции, услуг;
- *ИНФКО* – комитет по научно-технической информации, в рамках которого функционирует информационная система *ИСОНЕТ* о документах в области стандартизации - стандартах, справочниках, учебной литературе;
- *ДЕВКО* – комитет по оказанию помощи развивающимся странам;
- *КОПОЛКО* – комитет по защите интересов потребителей;
- *РЕМКО* – комитет по стандартным образцам (эталонам).

По своему содержанию только 20% стандартов ИСО относятся к конкретной продукции. Остальные нормативные документы касаются требований безопасности, взаимозаменяемости, технической и информационной совместимости, методов испытаний, других общих и методических вопросов.

Международные стандарты ИСО, которых разработано более 10 тыс., не имеют статуса обязательных. Каждая страна – участница вправе решать вопрос о применении международных стандартов в зависимости от степени участия страны в международном разделении труда, состояния экономики и внешней торговли. В РФ принято около половины стандартов ИСО.

Главная международная организация по стандартизации и сертификации в области электротехники Международная электротехническая комиссия МЭК создана в 1906 г. Россия участвует в работе МЭК с 1921 г. Организационная структура МЭК во многом аналогична структуре ИСО.

Основная цель деятельности МЭК:

– содействие международному сотрудничеству по стандартизации и смежным с ней проблемам (испытания, оценка соответствия) в области электротехники, радиотехники, производства электротехнических материалов путём разработки международных стандартов и других документов.

Объекты стандартизации МЭК:

- материалы для электротехнической промышленности;
- электротехническое, электроэнергетическое оборудование;
- изделия электронной промышленности, электроинструмент;
- оборудование для спутников связи;
- терминология.

МЭК разработано более 2 тыс. стандартов. В РФ принято более половины стандартов МЭК

Международные стандарты МЭК можно разделить на два вида:

- общетехнические, носящие общеотраслевой характер, - нормативные документы на терминологию, стандартные напряжения и частоты, виды и методы испытаний, требования по безопасности;
- на конкретные виды продукции от бытовых электроприборов до спутников связи

Некоторые виды работ по международной стандартизации и сертификации ведут совместно ИСО и МЭК, а директивы имеют индекс ИСО/МЭК, например, Руководство 2 ИСО/МЭК «Общие термины и определения в области стандартизации и смежных видов деятельности».

Важнейшей целью при разработке стандартов ИСО/МЭК является разработка стандартов в области безопасности, разработка стандартов, содержащих наряду с техническими требованиями, требования по безопасности. Нормы безопасности зависят от уровня социально-экономического развития и образованности общества.

В сферу деятельности МЭК входит поиск методов защиты от различных видов опасностей:

- травмоопасность, опасность поражения электрическим током;
- техническая опасность, пожаро- и взрывоопасность;
- химическая и биологическая опасность;
- опасность излучений (звуковые, инфракрасные, радиочастотные, ультрафиолетовые, ионизирующие, радиационные).

Особый статус имеет Международный специальный комитет по радиопомехам (СИСПР), который занимается стандартизацией методов измерения радиопомех, излучаемых электронными и электротехническими приборами.

Организационно-методическую и практическую работу по стандартизации и оценке соответствия во взаимодействии с ИСО, МЭК в своих географических районах и областях деятельности ведут:

- Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН);
- Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО);
- Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ);
- «Кодекс Алиментариус» - комиссия по разработке стандартов на продовольствие;
- Европейский комитет по стандартизации (СЕН);
- Европейский комитет по стандартизации в электротехнике (СЕНЭЛЕК);
- Европейский институт по стандартизации в области электросвязи (ЕТСИ);
- Межскандинавская организация по стандартизации (ИНСТА);
- Международная ассоциация стран Юго-Восточной Азии (АСЕАН);
- Панамериканский комитет стандартов (КОПАНТ).

Стандартизация, сертификация и метрология в рамках СНГ осуществляется в соответствии с межправительственным соглашением «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации» от 1992 г. Перспективная приоритетная задача Межгосударственного Совета СНГ - развитие сотрудничества с ИСО, МЭК, СЕН.

Активное участие в работе международных и региональных организаций по стандартизации принимают национальные организации экономически развитых государств.

Национальная организация по стандартизации и смежным с ней проблемам в США – Национальный институт стандартов и технологии (NIST) – неправительственная некоммерческая организация, утверждающая национальные стандарты, координирующая работы по разработке и применению стандартов в государственном и частном секторах экономики.

Федеральные стандарты в США разрабатывают:

- Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM);
- Американское общество по контролю качества (ASQC);
- Американское общество инженеров – механиков (ASME);
- Общество инженеров – автомобилестроителей (SAE);
- Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и другие организации и фирмы.

Основные задачи разработки и внедрения национальных стандартов в США - экономия энергоресурсов, защита окружающей среды, обеспечение безопасности людей и условий производства.

Национальная организация по стандартизации и смежным с ней проблемам в Британии – Британский институт стандартов (BSI) – независимая организация, координирующая деятельность по стандартизации, управлению качеством и сертификации, информационному обслуживанию и маркетингу, созданная для удовлетворения потребностей обществ инженеров-механиков, инженеров-судостроителей, инженеров-электриков и инженеров-металлургов. Приоритетные направления деятельности BSI – стандартизация в электротехнике, автоматизации, информационной технике, строительстве, химии, здравоохранении, машиностроении. Современное направление - обеспечение безопасности инвалидов, техническая помощь британским фирмам – экспортёрам.

Национальная организация по стандартизации во Франции – Французская ассоциация по стандартизации (ANFOR) – организация, координирующая деятельность по стандартизации, сертификации, метрологии, управлению качеством. Приоритетные направления деятельности в международной стандартизации – информационные технологии, в европейской стандартизации - транспорт и телекоммуникации, в национальной стандартизации – экология, безопасность, агропромышленное производство, а также сфера услуг.

Национальная организация по стандартизации в Германии – Немецкий институт стандартов (DIN). Деятельность DIN финансируется на основе договоров с заинтересованными сторонами – заказчиками нормативных документов и дотациями со стороны государства. Особое внимание уделяется стандартизации в области обеспечения безопасности товаров и услуг, защиты окружающей среды, созданию основополагающих стандартов. Кроме стандартизации DIN занимается проблемами оценки соответствия и информационного обеспечения стандартизации и сертификации.

Национальная организация по стандартизации в Японии – Японский комитет промышленных стандартов (JISC) - консультативный орган при Министерстве внешней торговли и промышленности. Деятельность JISC финансирует правительство Японии. На основании Закона о промышленной стандартизации в Японии производится сертификация промышленной продукции на соответствие национальному стандарту. Разрешение на выдачу сертификата и право маркировки знаком соответствия стандарту даёт министр отрасли по результатам инспекционного контроля качества данной продукции и аттестации предприятия.

Приоритетные направления стандартизации в Японии – учёт интересов зарубежных партнёров, придание открытого характера информации о стандартизации,

гармонизация японских национальных стандартов с международными стандартами, упрощение процедур сертификации, распространение стандартизации на продукцию предприятий частного сектора. Большое внимание уделяется стандартам, направленным на защиту окружающей среды, решение социальных проблем, создание условий для справедливой конкуренции, сохранение лидерства в области стандартизации в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

9 Информационное обеспечение стандартизации

Национальному органу по стандартизации – *Росстандарту* - предоставлено исключительное право опубликования официальной информации:

- реестра продукции и услуг, сертифицированных и маркированных знаками соответствия и обращения на рынке;
- российских, международных, региональных, национальных нормативных документов.

Национальный орган РФ по стандартизации ведёт *Федеральный фонд стандартов* – совокупность нормативных документов по стандартизации, метрологии, оценке соответствия. В фонд входят:

- нормативные акты РФ по стандартизации, сертификации, метрологии;
- государственные реестры;
- государственные стандарты, их проекты;
- правила, рекомендации в области стандартизации;
- стандарты отраслей, предприятий, научно-технических и инженерных обществ, общественных организаций;
- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- международные договоры, нормативные документы, принятые международными, региональными, национальными организациями зарубежных стран.

Головная организация по информационному обеспечению стандартизации - ВНИИКИ - Всероссийский НИИ классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству. ВНИИКИ совместно с другими НИИ и ЦМС ведёт автоматизированный банк отечественных, международных, региональных, зарубежных стандартов и нормативных документов по управлению качеством.

ВНИИКИ исполняет функцию национального центра международной информационной сети по стандартизации ИСОНЕТ, руководство деятельностью которой осуществляет Комитет по информационным системам и услугам ИНФКО, входящий в Совет ИСО.

Развитие информационных технологий повысило актуальность классификаций и кодирования информации. В РФ создана *Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации* (ЕСКК), объектами которой выступают:

- статистическая информация;
- макроэкономическая, финансовая, правоохранительная деятельность;
- банковское дело, бухгалтерский учёт;
- стандартизация, оценка соответствия;

- производство продукции, предоставление услуг;
- торговля, таможенное дело;
- внешнеэкономическая деятельность.

Составляющие ЕСКК:

- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, средства их ведения;
- нормативные, методические документы по их разработке, ведению и применению.

Национальный орган РФ по стандартизации принял более 20, в стадии внедрения находятся более 25 общероссийских классификаторов, гармонизированных с международными стандартами и классификациями.

Действующие общероссийские классификаторы:

- *ОКПО* – предприятий и организаций;
- *ОКОГУ* – органов государственной власти и управления;
- *ОКЭР* – экономических районов;
- *ОКДП* – видов экономической деятельности, продукции и услуг;
- *ОКСО* – специальностей по образованию;
- *ОКЗ* – занятий;
- *ОКУД* – управленческой документации;
- *ОКП* – продукции;
- *ОКС* – стандартов;
- *ОКПДТР* – профессий рабочих, должностей служащих, тарифных разрядов;
- *ОКОФ* – основных фондов;
- *ЕСКД* – изделий и конструкторских документов в машиностроении;
- *ОКЕИ* – единиц измерения;
- *ОКСВНК* – специальностей высшей научной квалификации.

Национальные стандарты, общероссийские классификаторы и информация об их разработке должна быть доступна заинтересованным лицам. Издательство национального органа РФ по стандартизации выпускает широкий спектр наименований печатной продукции – стандарты, нормативные документы, справочники, журналы с приложениями, учебная литература.

10 Работы по стандартизации

Работы, выполняемые при стандартизации, в условиях современного производства способствуют:

- совершенствованию организации и управления производством;
- повышению производительности оборудования и персонала;
- улучшению проектирования и изготовления продукции, особенно при крупносерийном, массовом производстве;
- ускорению разработки наукоёмких, малоотходных технологий;
- повышению стабильности качества товаров, работ и услуг;
- экономии ресурсов всех видов – материальных, энергетических, временных, людских;
- развитию безотходных технологий и защите окружающей среды.

Основные работы (методы стандартизации), выполняемые при стандартизации:

- систематизация объектов, явлений или понятий;
- кодирование и классификация технико-экономической информации;
- унификация и симплификация деталей, сборочных единиц, узлов, агрегатов, машин, приборов;
- типизация конструкций изделий и технологических процессов;
- агрегатирование машин и других изделий.

Систематизация объектов, явлений или понятий – расположение объектов в определённом порядке и последовательности, образующей чёткую систему, удобную для пользования. Простейшие формы систематизации – расположение объектов в алфавитном или хронологическом порядках.

Кодирование – присвоение по определённым правилам объекту кода, в виде сочетания цифр и букв. Коды обеспечивают идентификация объектов с помощью минимального количества знаков. Автоматизированные системы управления отраслями промышленности с применение вычислительной техники позволяют обрабатывать большой объём информации, закодированной в десятичных цифровых кодах.

Классификация – разделение множества объектов на классификационные группировки по сходству или различию на основе определённых признаков в соответствии с принятыми правилами.

Наибольшее применение получил *иерархический* метод классификации, в котором исходное множество объектов последовательно разделяется на подмножества (классы, группы, виды) по принципу от общего к частному. Основная сложность при построении классификации – выбор системы признаков, определение порядка их следования. Иерархическая классификация логична, проста, но плохо поддаётся автоматизированной обработке.

Фасетный метод классификации подразделяет объекты на независимые подмножества, обладающие определёнными признаками, необходимыми для решения конкретных задач. Принцип построения фасетной классификации – от частного к общему. Такая классификация хорошо поддаётся автоматизированной обработке.

Порядок проведения работ по классификации и кодированию информации регламентирован Единой системой классификации и кодирования технико-экономической информации *ЕСКК ТЭИ*. На основе Единой системы разрабатывают классификаторы (общероссийский, отраслевой, предприятия). Классификатор по статусу приравнен стандарту соответствующего уровня.

Унификация – приведение объектов одинакового функционального назначения к единообразию по установленному признаку и рациональное сокращение числа этих объектов. Унификация (заводская, отраслевая, межотраслевая) устанавливает минимально необходимое но достаточное число типов, видов, типоразмеров, изделий, сборочных единиц и деталей, обладающих высоким качеством и полной взаимозаменяемостью.

Симплификация – форма стандартизации, при которой уменьшают количество типов изделий до величины, достаточной для удовлетворения существующих в данное время потребностей.

Типизация конструкций изделий – разработка и установление типовых конструкций, содержащих конструктивные параметры общие для изделий, сборочных единиц, деталей.

Типизация технологических процессов – разработка и установление технологического процесса, для производства однотипных деталей или сборки однотипных составных частей или изделий.

Агрегатирование – создание машин, оборудования, приборов и других изделий из унифицированных стандартных агрегатов (автономных сборочных единиц), устанавливаемых в изделии в различном числе и комбинациях. Из минимального числа типоразмеров автономных агрегатов стремятся создать максимальное число компоновок оборудования.

Принципы, определяющие современную научно-техническую организацию работ по стандартизации:

- *системности;*
- *обеспечения функциональной взаимозаменяемости стандартизируемых изделий;*
- *научно-исследовательский;*
- *предпочтительности;*
- *прогрессивности и оптимизации стандартов;*
- *взаимоувязки стандартов;*
- *минимального удельного расхода материалов.*

Принцип системности - применение совокупности взаимосвязанных элементов, функционирование которых приводит к выполнению поставленной цели с максимальной эффективностью и наименьшими затратами. Научно-технический прогресс вызвал необходимость системного подхода к процессу производства, включающего труд людей, средства (оборудование, оснастка, инструмент, средства контроля) и предметы труда (продукция на стадиях её создания и использования).

Принцип обеспечения функциональной взаимозаменяемости стандартизируемых изделий – обеспечение взаимозаменяемости по эксплуатационным показателям. Принцип является главным при комплексной и опережающей стандартизации изделий.

Научно-исследовательский принцип разработки стандартов – проведение специальных теоретических, экспериментальных и опытно-конструкторских работ для подготовки проектов стандартов.

Принцип предпочтительности – установление нескольких рядов значений стандартизируемых параметров, чтобы при их выборе первый ряд предпочесть второму, второй – третьему. Широкое применение получили ряды предпочтительных чисел, построенные по принципу геометрической прогрессии. Принцип является теоретической базой современной стандартизации, позволяет повысить уровень взаимозаменяемости, уменьшить номенклатуру типоразмеров заготовок, деталей, изделий, создаёт условия эффективной специализации и кооперирования в промышленности.

Принцип прогрессивности и оптимизации стандартов – соответствие показателей, норм, характеристик и требований в стандартах мировому уровню науки, техники, производства, учёт прогрессивных тенденций развития стандартизируе-

мых объектов. Принципа позволяет получать в производстве максимальный экономический эффект при минимальных затратах.

Принцип взаимоувязки стандартов – учёт всех основных элементов (факторов), влияющих на конечный объект стандартизации. При стандартизации рассматривают систему характеристик и требований к комплексу взаимосвязанных материальных и нематериальных элементов. Второстепенные элементы, незначительно влияющие на объект, не учитывают.

Принцип минимального удельного расхода материалов – минимизациия удельного расхода материалов, полуфабрикатов, стоимость которых в машиностроении составляет 40…80% от конечной себестоимости продукции. Стандартизация заготовок, изделий позволяет получить экономию материалов за счёт рациональных схем и компоновок машин, совершенства методов расчёта деталей на прочность, применения экономичных профилей, сварных конструкций, литых заготовок, пластмасс, композиционных материалов.

Методы стандартизации:

- *прогрессивная стандартизация;*
- *комплексная стандартизация;*
- *опережающая стандартизация.*

Прогрессивная стандартизация (ПС) – стандартизация, которая основана на использовании технических прогнозов, патентов, изобретений, передовых научно-технических и опытно-конструкторских разработок.

Комплексная стандартизация (КС) – стандартизация, при которой осуществляют целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимоувязанных требований как к объекту в целом и его элементам, так и к материальным и нематериальным факторам, влияющим на объект, с целью обеспечения оптимального решения конкретной проблемы. Сущность КС - систематизация, оптимизация и увязка всех взаимодействующих факторов (в процессе проектирования, производства, эксплуатации), обеспечивающих экономически оптимальный уровень качества продукции в требуемые сроки.

Опережающая стандартизация (ОС) – установление повышенных по отношению к достигнутому на практике уровню норм, требований к объектам стандартизации, которые, согласно техническим прогнозам, будут оптимальными в последующее планируемое время. ОС относят к изделию, показателям его качества, средствам производства, методам испытания, контроля. ОС – основа проектирования новой, более совершенной техники.

В качестве примера комплексной стандартизации можно привести *Межотраслевую систему общетехнических стандартов*, направленную на решение крупных народно-хозяйственных задач, обеспечение эффективности производства высококачественной продукции.

В числе прочих в межотраслевую систему входят:

- *ЕСКД* – единая система конструкторской документации;
- *ЕСТД* – единая система технологической документации;
- *СПКП* – система показателей качества продукции;
- *УСД* – унифицированные системы документации;
- *СИБИД* - система информационно-библиографической документации;

- *ГСИ* – государственная система обеспечения единства измерений;

- *ЕСЗКС* – единая система защиты от коррозии и старения материалов и изделий;

- *стандарты на товары, поставляемые на экспорт;*

- *ССБТ* – система стандартов безопасности труда;

- *ЕСТПП* – единая система технологической подготовки производства;

- *разработка и постановка продукции на производство;*

- *система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов;*

- *ЕСПД* – единая система программной документации;

- *ЕСГУКП* – единая система государственного управления качеством продукции;

- *СПДС* – система проектной документации для строительства;

- *ЕССП* – единая система стандартов приборостроения.

ЕСКД – система, устанавливающая для всех организаций и предприятий единый порядок организации проектирования, единые правила выполнения и оформления чертежей и ведения чертёжного хозяйства. Этим стандартам присвоен класс 2, например ГОСТ 2.001-93.

Основные задачи ЕСКД:

- повышение производительности труда конструкторов;

- улучшение качества чертёжной документации;

- облегчение взаимообмена конструкторской документацией между организациями;

- углубление унификации при разработке проектов изделий;

- упрощение форм конструкторских документов, графических изображений, внесения в них изменений;

- механизация и автоматизация обработки технических документов;

-эффективное хранение, учёт документов, сокращение их объёмов;

- ускорение оборота документов.

Главные перспективные направления развития ЕСКД:

- полное документальное обеспечение систем автоматизации проектно- конструкторских работ;

- документальное обеспечение автоматизированных систем управления на государственном, отраслевом уровнях и на предприятиях;

- создание общегосударственной сети вычислительных центров на базе ЭВМ четвёртого (сверхминиатюрные ЭВМ на больших интегральных схемах) и пятого (на основе световых и оптических явлений) поколений.

Система ЕСКД широко использована в современных условиях при:

- разработке автоматических систем управления производством;

- создании и применении машинных носителей информации в качестве юридически предусмотренных форм представления документации;

- применении действующих классификаторов и систем документации;

- внедрении стандартных программ сбора, хранения, передачи и обработки информации в общегосударственной автоматизированной системе.

ЕСТД – система, устанавливающая для всех организаций и предприятий единые взаимосвязанные правила, нормы и положения выполнения, оформления, комплектации и обращения, унификации и стандартизации технологической документации. Этим стандартам присвоен класс 3, например ГОСТ 3.1103-84.

ЕСТД решает информационные и организационные задачи:

- широкого внедрения типовых технологических процессов, основанных на технологическом классификаторе деталей машиностроения и приборов;
- сокращения объёма, упорядочения номенклатуры, установления правил составления технологической документации;
- разработки систем нормативов основного производства и учёта;
- повышения в конечном итоге производительности труда технологов.

ЕССП – система, призванная унифицировать и согласовывать по принципу агрегатирования параметры и характеристики приборов и устройств, входящих в систему автоматического контроля, регулирования и управления сложными технологическими процессами. Одновременно система обеспечивает функциональную, информационную, конструктивную, эксплуатационную совместимости указанных приборов и технических средств.

Совместимость технических средств – обеспечение согласованной совместной работы этих средств в предусмотренном сочетании, в рекомендуемом диапазоне нормируемых параметров (энергоносители, присоединительные и габаритно-установочные размеры, эргономические требования).

Повышение требований потребителя к техническому уровню и качеству продукции, необходимость дальнейшего совершенствования качества определяют уровень и сложность работ по стандартизации, поиск совершенствование новых эффективных форм разработки стандартов на продукцию и услуги с учётом международного разделения труда, кооперирования и особенностей товарообмена в стране и за рубежом.

Система управления качеством – совокупность организационной структуры и процедур, процессов, ресурсов, ответственности работников, направленная на повышение качества продукции (работ, услуг). На основании мирового опыта по управлению качеством в РФ приняты стандарты ГОСТ Р ИСО серии 9000. В основе этих, а также вновь разрабатываемых международных стандартов, положены принципы управления качеством:

- ориентация на запросы и требования потребителя;
- повышение роли руководителя в организации управления качеством;
- вовлечение инициативы и ответственности персонала;
- разработка процесса достижения желаемого результата;
- применение системного анализа для повышения эффективности функционирования системы взаимосвязанных процессов;
- формирование потребности у персонала постоянного улучшения продукции, процессов и системы в целом;
- принятие решений на основе сбора и анализа данных и информации;
- постановка взаимовыгодных отношений с поставщиками.

Наличие сертификата системы качества является необходимым, хотя и не достаточным, условием выхода продукции на международный рынок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Промышленность Российской Федерации конца восьмидесятых годов прошлого столетия обслуживали 80…100 тыс. стандартов, в то время как необходимое и достаточное количество стандартов составляло 1…2 тыс. Избыточная стандартизация усложняла разработку новых видов продукции и современных ресурсосберегающих, малоотходных, экологически чистых технологий. Существующая в стране система стандартизации в условиях становления рыночных отношений превратилась в препятствие развития производства новых видов товаров. Закон Российской Федерации «О стандартизации» совместно с законом «О защите прав потребителей» более 10 лет являлся законодательной основой стандартизации. В начале двадцать первого века в стране назрела необходимость совершенствования основ государственной стандартизации.

Федеральный закон «О техническом регулировании» признал утратившим силу закон о «Стандартизации» и предоставил новые возможности по дальнейшему совершенствованию стандартизации и оценки соответствия товаров и услуг обязательным требованиям стандартов. Закон «О техническом регулировании» определил приоритетные цели стандартизации – повышение уровня безопасности граждан и имущества, экологической безопасности, безопасности животных, растений, а также обеспечение научно-технического прогресса и повышение конкурентоспособности продукции, работ, услуг.

Дальнейшее развитие стандартизации, широкое применение прогрессивной, комплексной и опережающей стандартизации являются необходимыми и определяющими условиями роста национального валового продукта, роста благосостояния граждан, успешной интеграции экономики России в мировую экономическую систему, расширения международного экономического и научно-технического сотрудничества, роста объёма и совершенствования структуры международного товарообмена в интересах населения и государства.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Правовые основы стандартизации
2. Цели стандартизации.
3. Задачи стандартизации.
4. Принципы стандартизации.
5. Документы в области стандартизации.
6. Национальный орган РФ по стандартизации. Функции, права.
7. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов.
8. Национальная система стандартизации.
9. Порядок разработки и утверждения национальных стандартов.
10. Категории стандартов.
11. Объекты стандартизации.
12. Виды стандартов.
13. Международные, региональные организации по стандартизации.
14. Информационное обеспечение стандартизации.
15. Общероссийские классификаторы технико-экономической информации.
16. Работы, выполняемые при стандартизации.
17. Принципы организации работ по стандартизации.
18. Методы стандартизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2010. – 560 с.: ил.

2. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт-Издат, 2009. – 335 с.

3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2010. - 464 с.: ил.

4. Яблонский О.П., Иванова В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник. – Ростов на/Д: Феникс, 2010. – 448 с.

5. Радкевич Я.М., Лактионов Б.И., Схиртладзе А.Г Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов - 2-е изд., доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 791 с.

6. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 711 с.

7. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании».

8. Закон Российской Федерации от 7 февраля 1992 г. N 2300-I «О защите прав потребителей».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 - Перечень систем межгосударственных и государственных стандартов

Наименование систем	Аббревиатура в обозначении стандарта	Шифр в обозначении	Категория стандартов
1	2	3	4
Государственная система стандартизации РФ	ГСС	1.	ГОСТ Р
Единая система конструкторской документации	ЕСКД	2.	ГОСТ
Единая система технологической документации	ЕСТД	3.	ГОСТ
Система показателей качества продукции	СПКП	4.	ГОСТ
Унифицированная система документации	УСД	6.	ГОСТ ГОСТ Р
Система информационно-библиографической документации	СИБИД	7.	ГОСТ
Государственная система обеспечения единства измерений	ГСИ	8.	ГОСТ ГОСТ Р
Единая система защиты от коррозии и старения	ЕСЗКС	9.	ГОСТ
Система стандартов безопасности труда	ССБТ	12.	ГОСТ ГОСТ Р
Репрография	-	13.	ГОСТ ГОСТ Р
Единая система технологической подготовки производства	ЕСТПП	14.	ГОСТ
Система разработки и постановки продукции на производство	СРПП	15.	ГОСТ ГОСТ Р
Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов	-	17.	ГОСТ ГОСТ Р
Единая система программных документов	ЕСПД	19.	ГОСТ
Система проектной документации по строительству	СПДС	21.	ГОСТ Р
Безопасность в чрезвычайных ситуациях	-	22.	ГОСТ Р
Расчеты и испытания на прочность	-	25.	ГОСТ
Надежность в технике	-	27.	ГОСТ
Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения	-	29.	ГОСТ
Информационная технология	-	34.	ГОСТ Р
Система сертификации ГОСТ Р	-	40.	ГОСТ Р
Система аккредитации в РФ	-	51.	ГОСТ Р

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 - Нормативные документы по стандартизации

Наименование документа	**Определение**	**Обозначение**	**Сфера действия**
1	2	3	4
Национальный стандарт РФ	Стандарт, принятый ФА Ростехрегулирования	ГОСТ Р	Российская Федерация
Региональный стандарт	Стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации	ГОСТ, СТ СЭВ	Страны — члены региона
Межгосударственный стандарт (является стандартом регионального типа)	Стандарт, принятый Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации или Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве	ГОСТ	Страны — члены Межгосударственного совета (МГС) и (или) Межгосударственной научно-технической комиссии (МНТКС)
Международный стандарт	Стандарт, принятый международной организацией по стандартизации	ИСО, МЭК, ИСО/МЭК	Страны — члены и члены-корреспонденты ИСО и МЭК
Общероссийский классификатор технико-экономической информации	Документ, принятый Госстандартом России или Госстроем России	ОК	Российская Федерация
Стандарт отрасли	Стандарт, принятый государственным органом управления в пределах его компетенции применительно к продукции, работам и услугам отраслевого значения	ОСТ	В одной или нескольких отраслях
Стандарт предприятия	Стандарт, принятый предприятием применительно к внутренним продукции, работам и услугам.	СТП	На данном предприятии
Стандарт научно-технического, инженерного общества	Стандарт, принятый научно-техническим, инженерным обществом или другим общественным объединением	СТО	На принципиально новые виды продукции, процессы, услуги, методы испытаний
Правила	Документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, устанавливающий обязательные для применения организационно- технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также обязательные требования к оформлению результатов этих работ	ПР	Российская Федерация

Продолжение таблицы Б.2 Нормативные документы по стандартизации

1	2	3	4
Технические условия	Документ, разработанный на конкретную продукцию (изделие, материал, вещество)	ТУ	На конкретное изделие, материал, вещество
Рекомендации	Документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, содержащий добровольные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также рекомендуемые правила оформления результатов этих работ	Р	Российская Федерация
Правила по межгосударственной стандартизации	См. «Правила»	ПМГ	Страны — члены МГС и (или) МНКТС
Рекомендации по межгосударственной стандартизации	См. «Рекомендации»	РМГ	Страны — члены МГС и (или) МНКТС
Регламент	Документ, содержащий обязательные правовые нормы и принятый органами власти		Сфера действия регламента

Все действующие в Российской Федерации государственные, межгосударственные, региональные, национальные стандарты других стран вносятся в ежегодно переиздаваемый указатель «Национальные стандарты».

Национальные стандарты (ГОСТ Р) разрабатываются на продукцию, работы и услуги, имеющие межотраслевое значение, и не должны противоречить законодательству Российской Федерации.

Национальные стандарты должны содержать:

- требования к продукции, работам и услугам по их безопасности для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, требования техники безопасности и производственной санитарии;
- требования по технической и информационной совместимости, а также взаимозаменяемости продукции;
- основные потребительские (эксплуатационные) характеристики продукции, методы их контроля, требования к упаковке, маркировке, транспортированию, хранению, применению и утилизации продукции;
- правила и нормы, обеспечивающие техническое и информационное единство при разработке, производстве, использовании (эксплуатации) продукции, выполнении работ и оказании услуг, в том числе правила оформления технической документации, допуски и посадки, общие правила обеспечения качества продукции, работ и услуг, сохранения и рационального использования всех видов ресурсов, термины и их определения, условные обозначения, метрологические и другие общетехнические и организационно-технические правила и нормы. В государственных стандартах содержатся как обязательные для выполнения требования к объекту стандартизации, так и рекомендательные.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 ОБЩЕРОССИЙСКИЕ КЛАССИФИКАТОРЫ

Код	Наименование ОК	Аббревиатура ОК	Год принятия ОК	Дата введения ОК
001	Общероссийский классификатор стандартов	ОКС	1993	01.01.95
002	Общероссийский классификатор услуг населению	ОКУН	1993	01.01.94
003	Общероссийский классификатор органов государственной власти и управления	ОКОГУ	1993	01.01.96
004	Общероссийский классификатор видов экономической деятельности, продукции и услуг	ОКДП	1993	01.01.94
005	Общероссийский классификатор продукции	ОКП	1993	01.07.94
006	Общероссийский классификатор информации по социальной защите населения	ОКИСЗН	1993	01.01.94
007	Общероссийский классификатор предприятий и организаций	ОКПО	1993	01.07.94
009	Общероссийский классификатор специальностей по образованию	ОКСО	1993	01.07.94
010	Общероссийский классификатор занятий	ОКЗ	1993	01.01.95
011	Общероссийский классификатор управленческой документации	ОКУД	1993	01.07.94
012	Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов	Классификатор ЕСКД	1993	01.07.94
013	Общероссийский классификатор основных фондов	ОКОФ	1994	01.01.96
014	Общероссийский классификатор валют	ОКВ	1994	01.07.95
015	Общероссийский классификатор единиц измерения	ОКЕИ	1994	01.01.96

016	Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов	ОКПДТР	1994	01.01.96
017	Общероссийский классификатор специальностей высшей научной квалификации	ОКСВНК	1994	01.07.95
018	Общероссийский классификатор информации о населении	ОКИН	1995	01.07.96
019	Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления	ОКАТО	1995	01.01.97
020	Общероссийский классификатор деталей, изготавливаемых сваркой, пайкой, склеиванием и термической резкой	ОКД	1995	01.07.96
021	Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения	ТКД	1995	01.01.96
022	Общероссийский технологический классификатор сборочных единиц машиностроения и приборостроения	ОТКСЕ	1995	01.01.97
023	Общероссийский классификатор начального профессионального образования	ОКНПО	1995	01.07.96
024	Общероссийский классификатор экономических регионов	ОКЭР	1995	01.01.97
025	Общероссийский классификатор стран мира	ОКСМ	1995	01.07.96
026	Общероссийский классификатор информации об общероссийских классификаторах	ОКОК	1995	01.07.96
027	Общероссийский классификатор форм собственности	ОКФС	1999	01.01.2000
028	Общероссийский классификатор организационно-правовых форм	ОКОПФ	1999	01.01.2000
029	Общероссийский классификатор видов экономической деятельности	ОКВЭД	2001	01.01.2003

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ (КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

ЧАСТЬ 3

«ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ»

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 05.10. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 13.10. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..2
1. Основные понятия……3
2. Цели, принципы и формы подтверждения соответствия……..3
3. Добровольное подтверждение соответствия……..4
4. Обязательное подтверждение соответствия……...5
5. Участники системы сертификации.....…….……9
6. Схемы сертификации продукции и услуг……10
7. Порядок обязательного подтверждения соответствия……13
8. Организация деятельности органов по сертификации……14
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…...…….……16
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ……...17
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…...……...17
ПРИЛОЖЕНИЕ А……...……...17
ПРИЛОЖЕНИЕ Б…….…..18

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность по установлению требований к качеству продукции, услуг, процессам их производства и реализации основана на системах стандартизации, оценки соответствия.

В условиях государственного управления экономикой в процессе управления качеством участвовали с одной стороны - государство в лице предприятий, выпускающих продукцию и оказывающих услуги, совместно с контролирующими и регулирующими органами, а с другой – потребители.

В составе органов, контролирующих деятельность предприятий по качеству продукции, входили отделы технического контроля предприятий, ведомственные комиссии, органы вневедомственного контроля. Главная задача контролирующих органов – предотвращение выпуска предприятиями продукции или услуг, не соответствующих требованиям стандартов и технических условий, утверждённым образцам, положениям проектно - конструкторской и технологической документации, условиям поставки и договоров.

В девяностых годах прошлого века в ходе становления в России экономики рыночного типа получили развитие существенные процессы:

- появление производителей продукции и услуг негосударственных форм собственности;
- увеличение номенклатуры и объёма товаров и услуг;
- расширение внутреннего и международного товарообмена;
- усиление внутренней и международной конкуренции производителей товаров и услуг;
- возникновение реальных перспектив вступления России в международные экономические и торговые организации – Европейский Союз, ВТО.

Названные процессы в сочетании с мировым техническим прогрессом привели к необходимости изменения системы оценки и управления качеством продукции и услуг. В этих условиях эффективным способом гарантии качества, широко применяемым в мировой практике, явилось подтверждение соответствия требованиям стандартов третьей стороной, независимой от изготовителя (продавца) и потребителя (покупателя), - сертификация.

Становление рыночной экономики было поддержано законодательно основополагающими Федеральными законами Российской Федерации:

- «О защите прав потребителей» от 07.02.92;
- «О стандартизации» от 10.06.93;
- «О сертификации продукции и услуг» от 10.06.93.

Дальнейшее развитие экономики России потребовало совершенствования процессов стандартизации и оценки соответствия. Достижению этой цели призван способствовать федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.02.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции, процесса, работы, услуги предъявляемым к ним требованиям. Одной из форм оценки соответствия является общепризнанный в мировой практике способ - *сертификация соответствия*.

Сертификация (лат.) – «сделано верно». Чтобы убедиться в том, что продукция «сделана верно», в процессе сертификации необходимо ответить на вопросы:

- каким требованиям продукция, процесс, работа, услуга должны соответствовать?
- как путём можно получить доказательства этого соответствия?

1 Основные понятия

Аккредитация – официальное признание компетентности физического или юридического лица выполнять работы в области оценки соответствия.

Декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям ТР.

Декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие продукции требованиям ТР.

Заявитель – физическое или юридическое лицо, осуществляющее обязательное подтверждение соответствия.

Знак обращения на рынке – обозначение, информирующее приобретателя о соответствии продукции требованиям ТР.

Знак соответствия – обозначение, информирующее приобретателя о соответствии продукции требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

Идентификация продукции – установление тождественности характеристик продукции её существенным признакам.

Орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации.

Оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции, объектов, процессов требованиям ТР, положениям стандартов, условиям договоров.

Приобретатель – юридическое или физическое лицо, получающее товар или услугу для производственных, бытовых или личных целей.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объекта требованиям ТР, положениям стандартов или условиям договоров.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям ТР, положениям стандартов, условиям договоров.

Система сертификации – совокупность правил проведения сертификации, участников сертификации, правил функционирования системы.

Схема сертификации – состав, порядок и последовательность действий третьей стороны по оценке соответствия продукции, услуг, систем качества.

Форма подтверждения соответствия – определённый порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, выполнения работ или оказания услуг требованиям ТР, положениям стандартов, условиям договоров.

2 Цели, принципы и формы подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия осуществляют в *целях*:

- удостоверения соответствия продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов требованиям ТР, стандартов и условиям договоров;
- содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;

- повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;

- создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории РФ;

- осуществления международного экономического, научно - технического сотрудничества и международной торговли.

Подтверждение соответствия осуществляют на основе *принципов*:

- доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;

- недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования ТР;

- установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определённых видов продукции в соответствующем ТР;

- уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения и затрат заявителя;

- недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определённой системе добровольной сертификации;

- защиты имущественных интересов заявителей;

- соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;

- недопустимости подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией.

Подтверждение соответствия применяется равным образом и в равной мере независимо от:

- страны или места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг;

- видов или особенностей сделок и лиц, которые являются изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями, конечными потребителями.

Подтверждение соответствия на территории РФ имеет *характер*:

- *добровольный;*

- *обязательный.*

Добровольное подтверждение соответствия осуществляют в *форме*:

- *добровольной сертификации*.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляют в *формах*:

- *принятия декларации о соответствии*;

- *обязательной сертификации*.

Порядок применения форм обязательного подтверждения устанавливает федеральный закон «О техническом регулировании».

3 Добровольное подтверждение соответствия.

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации в форме добровольной сертификации. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется для установления соответствия товара, услуги требованиям национальных стандартов, стандартов организаций, систем добровольной сертификации, условиям договоров.

Орган по добровольной сертификации:

- осуществляет подтверждение соответствия объектов добровольного подтверждения соответствия;

- оформляет и выдаёт сертификаты соответствия на объекты, прошедшие добровольную сертификацию;

- предоставляет заявителям право на применение знака соответствия, предусмотренного соответствующей системой добровольной сертификации;

- приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия.

Система добровольной сертификации может быть создана юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями. Система добровольной сертификации устанавливает:

- перечень объектов добровольной сертификации и их характеристик;

- правила выполнения работ по сертификации;

- порядок оплаты работ по сертификации;

- возможность применения знака соответствия.

Система добровольной сертификации проходит регистрацию в федеральном органе по техническому регулированию, который ведёт единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации.

Системы добровольной сертификации характерны:

- активной ролью заявителя (выбирает требования к объекту, методы проверки, стандарты и другие нормативные документы, систему и схему сертификации);

- самоорганизацией системы (создание системы возможно любым субъектом хозяйственной деятельности, юридическим или физическим лицом);

- открытостью, возможностью для заинтересованных сторон ознакомиться с составом участников, правилами и процедурами сертификации;

- самостоятельностью, невмешательством федеральных и местных органов власти, общественных структур в деятельность системы.

Объекты, сертифицированные в системе добровольной сертификации, могут быть маркированы *знаком соответствия* системы. Применение знака соответствия национальному стандарту осуществляется заявителем на добровольной основе любым удобным для него способом (типографской печатью, тонкоплёночными технологиями, голографическими изображениями), месте (на товаре, упаковке, технической и сопроводительной документации, рекламе) в порядке, установленном национальным органом по стандартизации.

Знак соответствия:

- убеждает приобретателя, потребителя в надлежащем качестве и безопасности товара, услуги;

- помогает органам госнадзора принять решение о возможности реализации товара;

- является для страховых компаний гарантией безопасности товара.

В РФ действуют более ста систем добровольной сертификации, в том числе системы сертификации:

- в бизнесе и торговле;

- продукции машиностроения и приборостроения «Абрис»;

- веществ и материалов по химическому составу;

- банковских технологий;

- средств и систем в сфере информатизации;

- объектов и услуг;

- систем качества и производств Росстандарта;

- средств измерений;

- морской техники;

- интеллектуальной собственности;

- услуг связи;

- услуг информационных технологий и систем качества предприятий;

- программных средств, применяемых в обязательном медицинском страховании.

4 Обязательное подтверждение соответствия

Обязательное подтверждение соответствия проводится в случаях, установленных соответствующим ТР. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только

продукция, выпускаемая в обращение на территории РФ. Форма и схемы устанавливаются ТР с учётом степени риска не достижения его целей. Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу на всей территории РФ независимо от схем обязательного подтверждения соответствия. Работы по обязательному подтверждению соответствия оплачивает заявитель. Стоимость работ устанавливает Правительство РФ.

Декларирование соответствия осуществляют по одному из *вариантов*:

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств;
- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств и доказательств, полученных с участием органа по сертификации и (или) аккредитованной испытательной лаборатории (третьей стороны).

Заявителем может быть юридическое или физическое лицо, являющееся частным предпринимателем, изготовителем, продавцом, представителем иностранного изготовителя на основании договора с ним, круг заявителей устанавливает соответствующий ТР. Схему декларирование соответствия с участием третьей стороны ТР устанавливает, если отсутствие третьей стороны не приводит к достижению целей подтверждения соответствия.

При декларировании соответствия на основании собственных доказательств заявитель самостоятельно формирует доказательные материалы, в качестве которых использует техническую документацию, результаты собственных испытаний, исследований и (или) другие документы. Состав доказательных материалов определяет соответствующий ТР.

При декларировании соответствия на основании собственных доказательств и полученных с участием третьей стороны доказательств заявитель по своему выбору в дополнение к собственным доказательствам включает:

- протоколы исследований, испытаний и измерений, проведённых в испытательной лаборатории (центре);
- сертификат системы качества, в отношении которого предусмотрен контроль (надзор) органа по сертификации.

Декларация о соответствии оформляется на русском языке и содержит:

- наименование и указание местонахождения заявителя;
- наименование и указание местонахождения изготовителя продукции;
- информацию об объекте подтверждения соответствия;
- наименование ТР, на соответствие требованиям которого подтверждается продукция;
- указание схемы декларирования соответствия;
- заявление-декларацию изготовителя, продавца о безопасности продукции при её использовании в соответствии с целевым назначением;
- сведения о проведённых исследованиях, испытаниях и измерениях, сертификате системы качества, а также документах, послуживших основанием для подтверждения соответствия продукции требованиям ТР;
- указание срока действия декларации о соответствии;
- иные сведения, предусмотренные соответствующим ТР.

Срок действия декларации о соответствии определяет соответствующий ТР. Форму декларации утверждает федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию. Оформленная по установленным правилам декларация подлежит регистрации федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию в течение трёх дней. Порядок ведения реестра деклараций о соответствии, форму представления сведений в реестр, порядок оплаты определяет Правительство РФ.

Декларация о соответствии и доказательные документы хранятся у заявителя в течение трёх лет с момента окончания срока действия декларации. Второй экземпляр декларации хранится в федеральном органе исполнительной власти по техническому регулированию.

До вступления в силу соответствующего ТР Правительство РФ определяет и ежегодно дополняет номенклатуру (перечень) отдельных видов товаров и услуг, в отношении которых распространяется возможность принятия декларации о соответствии вместо обязательной сертификации.

В номенклатуру входят:

- продукция резинотехническая;
- приборы и аппараты оптические;
- подшипники;
- садово-огородный инвентарь;
- продукция деревообработки;
- продукция лёгкой и текстильной промышленности;
- продукция пищевой промышленности, животноводства, растениеводства;
- медицинские изделия.

Обязательное подтверждение соответствия в форме обязательной сертификации осуществляет орган по обязательной сертификации на основании договора с заявителем. Схемы сертификации устанавливает соответствующий ТР. Соответствие продукции требованиям ТР подтверждает сертификат соответствия, выданный заявителю органом по сертификации.

Сертификат соответствия оформляется на русском языке и содержит:

- наименование и указание местонахождения заявителя;
- наименование и указание местонахождения изготовителя продукции;
- наименование и указание местонахождения органа по сертификации, выдавшего сертификат соответствия;
- информацию об объекте сертификации;
- наименование ТР, на соответствие требованиям которого проводилась сертификация;
- заявление органа по обязательной сертификации о соответствии продукции, услуги предъявляемым к ней требованиям;
- информацию о проведённых исследованиях, испытаниях, измерениях;
- информацию о документах, представленных заявителем в качестве доказательств соответствия продукции требованиям ТР;
- указание срока действия сертификата соответствия.

Срок действия сертификата определяет соответствующий ТР. Форму сертификата соответствия утверждает федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию.

Обязательную сертификацию осуществляет орган по сертификации, аккредитованный в порядке, установленном Правительством РФ.

Орган по обязательной сертификации:

- привлекает на договорной основе для проведения исследований, испытаний и измерений испытательные лаборатории (центры), аккредитованные в порядке, установленном Правительством РФ;
- проводит анализ документов, принимает решение, оформляет и выдаёт сертификат соответствия, лицензию на применение знака обращения на рынке;
- ведёт реестр выданных им сертификатов соответствия;
- осуществляет инспекционный контроль за объектами сертификации, если контроль предусмотрен схемой обязательной сертификации, договором;
- информирует органы государственного контроля (надзора) о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей её;
- приостанавливает или прекращает действие выданного им сертификата соответствия;
- обеспечивает представление заявителям информации о порядке проведения обязательной сертификации;
- устанавливает стоимость работ по сертификации на основании утверждённой Правительством РФ методики определения стоимости работ.

Федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию ведёт единый реестр выданных сертификатов соответствия. Порядок ведения единого реестра, форму предоставления сведений в реестр, порядок оплаты устанавливает Правительство РФ.

Аккредитованная испытательная лаборатория (центр) оформляет результаты исследований, испытаний и измерений протоколами, на основании которых орган по сертификации при-

нимает решение о выдаче или отказе в выдаче сертификата соответствия. Аккредитованная лаборатория (центр) обязана обеспечить достоверность результатов исследований, испытаний и измерений.

Продукция, соответствие которой требованиям ТР подтверждено в установленном порядке, может быть маркирована *знаком обращения на рынке*. Изображение знака устанавливает Правительство РФ. Знак не является специально защищённым знаком и наносится заявителем в информационных целях любым удобным для него способом.

Заявитель в области обязательного подтверждения соответствия имеет право:

- выбирать форму и схему подтверждения соответствия, предусмотренные для определённых видов продукции соответствующим ТР;
- обращаться для осуществления обязательной сертификации в любой орган по сертификации, область аккредитации которого распространяется на предъявляемую к сертификации продукцию;
- обращаться в орган по аккредитации с жалобами на неправомерные действия органов по сертификации, испытательных лабораторий (центров).

Заявитель в области обязательного подтверждения соответствия обязан:

- обеспечивать соответствие продукции требованиям ТР;
- выпускать в обращение продукцию, подлежащую обязательному подтверждению соответствия, только после подтверждения соответствия;
- указывать в сопроводительной технической документации и при маркировке продукции сведения о сертификате или декларации соответствия;
- предъявлять в органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР, а также другим заинтересованным лицам документы, свидетельствующие о подтверждении соответствия – декларацию, сертификат соответствия или их копии;
- приостанавливать или прекращать реализацию продукции, если истёк срок действия, приостановлено или прекращено действие декларации, сертификата соответствия;
- извещать орган по сертификации об изменениях, вносимых в техническую документацию или технологические процессы производства сертифицированной продукции;
- приостанавливать производство продукции, которая прошла подтверждение соответствия и не удовлетворяет требованиям ТР на основании решений органов государственного контроля (надзора).

При ввозе на территорию РФ продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, заявитель одновременно с таможенной декларацией передаёт в таможенные органы декларацию о соответствии или сертификат соответствия. Полученные за пределами территории РФ документы о подтверждении соответствия, протоколы исследований, испытаний и измерений продукции могут быть признаны в соответствии с международными договорами РФ.

В РФ действуют несколько десятков самостоятельных систем обязательного подтверждения соответствия, в том числе системы обязательной сертификации:

- авиационной техники и объектов гражданской авиации;
- посуды;
- лесопромышленной продукции;
- товаров детского ассортимента;
- электрооборудования на соответствие стандартам безопасности;
- металлорежущего, деревообрабатывающего и слесарно-монтажного инструмента;
- металлообрабатывающих станков;
- сельскохозяйственной техники;
- транспортных средств и прицепов;
- технических средств на электромагнитную совместимость;
- нефтепродуктов;
- пищевых продуктов и продовольственного сырья;
- химической продукции;
- «Электросвязь».

Документы об аккредитации, выданные органам по сертификации и аккредитованным испытательным лабораториям (центрам) до вступления в силу федерального закона «О техническом регулировании», а также документы, подтверждающие соответствие (сертификат соответствия, декларация о соответствии) считаются действительными до окончания срока, установленного в них.

Номенклатура продукции , подлежащих обязательному подтверждению соответствия и подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии, определено Правительством Российской Федерации в постановлении от 1 декабря 2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии».

Пример перечня приведен в таблице 1.

Таблица 1 ИНФОРМАЦИЯ О ПРОДУКЦИИ, ПОДЛЕЖАЩЕЙ ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ ПОДТВЕРЖДЕНИЮ СООТВЕТСТВИЯ (В ФОРМЕ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ) В СИСТЕМЕ СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р, С УКАЗАНИЕМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, УСТАНАВЛИВАЮЩИХ ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ [1]

Наименование объекта	**Код позиции объекта по ОК 005-93 [ОКП]**	**Обозначение определяющего нормативного документа**	**Подтверждаемые требования определяющего нормативного документа**
1	**2**	**3**	**4**
0110 Электроэнергия			
Электрическая энергия в электрических сетях общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц	01 1000	ГОСТ 13109-97	Пп. 5.2 (в части предельно допускаемых значений), 5.6
0251 Нефтепродукты светлые. Альтернативные виды топлива			
Этанольное моторное топливо для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Бензанолы	02 5141	ГОСТ Р 52201-2004	П. 4.1
0253 Масла смазочные (нефтяные)			
Масла авиационные	02 5311	ГОСТ 21743-76	П. 2.2

5 Участники системы сертификации

Система сертификации – совокупность участников, осуществляющих сертификацию по правилам, установленным в этой системе.

В систему сертификации входят:

- национальный орган по сертификации;

[1] В данном документе учтены изменения в Постановление Правительства РФ от 01.12.2009 № 982, внесенные Постановлениями Правительства РФ от 17.03.2010 № 149, от 20.10.2010 № 848, от 13.11.2010 № 906.

- центральный орган по сертификации;
- орган по сертификации;
- испытательная лаборатория (центр);
- совет по сертификации;
- научно-методический центр по сертификации;
- комиссия по апелляциям;
- заявители сертификации.

Национальный орган по сертификации - федеральный орган исполнительной власти - Федеральное агентство РФ по техническому регулированию и метрологии, осуществляющий организацию работ по обязательной сертификации в соответствии с законодательными актами.

Центральный орган по сертификации – федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий разработку систем, правил, порядков сертификации однородной продукции.

Орган по сертификации – региональный орган, проводящий сертификацию, созданный на базе организаций, имеющих статус юридического лица и являющийся третьей стороной. Основные функции органа:

- формирование и актуализация фонда нормативных документов;
- разработка и ведение организационно-методических документов;
- приём и рассмотрение заявок на сертификацию;
- определение испытательной лаборатории, органа по оценке системы качества, проверке производства;
- оформление и выдача сертификата установленной формы, регистрация в Государственном реестре;
- признание зарубежных сертификатов;
- организация инспекционного контроля продукции, системы качества;
- отмена или приостановление действия сертификатов по результатам инспекционного контроля;

Заявители должны иметь беспрепятственный доступ к информации об услугах органа, правилах сертификации, результатах испытаний и сертификации, исключая информацию конфиденциального характера или содержащую коммерческую тайну.

Испытательная лаборатория (центр) – организация, имеющая статус юридического лица, являющаяся третьей стороной и осуществляющая для целей сертификации испытания конкретного вида продукции или конкретные виды испытаний с оформлением протоколов.

Совет по сертификации – орган, разрабатывающий рекомендации по формированию единой политики сертификации, повышению эффективности работ, распространению информации о деятельности системы. В состав совета входят представители центрального органа по сертификации, Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, министерств, ведомств, служб, агентств, изготовителей продукции, испытательных лабораторий, общественных организаций.

Научно-методический центр по сертификации – центр, созданный при центральном органе по сертификации и осуществляющий системные исследования, разрабатывающий методические и практические рекомендации для ведения технико-экономического анализа работ по сертификации.

Комиссия по апелляциям – комиссия, рассматривающая в установленный срок жалобы, поданные по результатам сертификации, извещает подателя и орган по сертификации о принятом решении. Комиссию создаёт центральный орган по сертификации для рассмотрения жалоб и решения спорных вопросов. В работе комиссии участвуют представители Федерального агентства РФ по техническому регулированию и метрологии, министерств, ведомств, служб, агентств, органов по сертификации, испытательных лабораторий, изготовителей сертифицируемой продукции.

Заявители сертификации – изготовители продукции, исполнители работ, продавцы, обратившиеся в орган по сертификации. Заявители обязаны:

- направлять заявку на проведение сертификации, предоставлять продукцию, необходимую нормативную, техническую и иную документацию;

- обеспечивать соответствие реализуемой продукции требованиям нормативных документов;

- маркировать продукцию знаком обращения на рынке;

- обеспечивать беспрепятственное выполнение полномочий должностными лицами органов по сертификации и инспекционному контролю;

- приостанавливать или прекращать реализацию продукции, если она не отвечает требованиям нормативных документов.

Права и обязанности заявителя регламентированы федеральным законом «О техническом регулировании».

6 Схемы сертификации продукции и услуг

Схема сертификации продукции – перечень мероприятий и последовательность действий третьей стороны по оценке соответствия различных видов продукции или услуг. Мероприятия объедены в три группы:

- испытания в испытательной лаборатории;

- проверка производства (системы качества);

- инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества).

Среди мероприятий:

- испытания образца или партии продукции;

- анализ состояния производства, системы качества;

- рассмотрение декларации о соответствии;

- рассмотрение дополнительных документов, полученных заявителем помимо сертификации (протоколы приёмочных испытаний, гигиенический сертификат, ветеринарный сертификат, сертификат пожарной безопасности, сертификаты или декларации субпоставщиков, сертификаты происхождения, протоколы испытаний в зарубежных лабораториях).

Система сертификации продукции предусматривает несколько схем. Выбор схемы зависит: от вида продукции; особенностей производства, испытаний, поставки, использования продукции; требуемого уровня доказательности; возможных затрат заявителя. Схему устанавливает ТР.

Схемы сертификации продукции, применяемые в РФ, разработанные с учётом рекомендаций ИСО/МЭК и практики подтверждения соответствия ЕС, приведены в табл. 2.

Схемы 1…8 полностью соответствуют рекомендациям ИСО/МЭК. В российской практике дополнительно применяют модифицированные схемы 2а, 3а, 4а, а также схемы 9…10а, основанные на декларации изготовителя.

Современным актуальным направлением развития сертификации в российской и мировой практике является сертификация услуг (см. табл.3.1).

Объектами сертификации в сфере услуг могут быть:

- услуги, работы;

- организации, предоставляющие услуги, выполняющие работы;

- персонал, предоставляющий услуги, выполняющий работы;

- производственный процесс;

- система управления качеством.

Схемы, относящиеся к сертификации услуг и работ, включают:

- оценку мастерства исполнителя, процесса оказания услуги;

- аттестацию предприятия, сертификацию системы качества;

- проверку результатов оказания услуги;

- инспекционный контроль за сертифицированными услугами.

Таблица 2 - Схемы сертификации продукции

№ схемы	Испытания в испытательных лабораториях	Проверка производства (системы качества)	Инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества)
1	Испытание типового образца продукции	--	--
1а	То же	Анализ состояния производства	--
2	То же	--	Испытания образцов продукции, взятых у продавца
2а	То же	Анализ состояния производства	То же
3	То же	--	Испытания образцов продукции, взятых у изготовителя
3а	То же	Анализ состояния производства	То же
4	То же	--	Испытания образцов продукции, взятых у продавца
4а	То же	Анализ состояния производства	Испытания образцов продукции, взятых у изготовителя
5	То же	Сертификация производства или системы качества	Контроль стабильности условий производства или функционирования системы качества
6	Рассмотрение декларации о соответствии	Сертификация системы качества	Контроль стабильности функционирования системы качества
7	Испытания партии продукции	--	--
8	Испытания каждого образца	--	--
9	Рассмотрение декларации о соответствии	--	--
9а	То же	Анализ состояния производства	--
10	То же	--	Испытания образцов, взятых у изготовителя или продавца
10а	То же	Анализ состояния производства	То же

Особенности услуг как объекта сертификации:

- субъективность проверки результата услуги (например, причёски);
- невозможность испытаний результата услуги (испытаний сложной бытовой техники после ремонта по установленным жёстким правилам испытаний);
- непосредственный контакт исполнителя и потребителя услуги требует оценки мастерства исполнителя с учётом этики общения (услуги косметического кабинета);
- предоставление услуги и её потребление происходит одновременно (парикмахерские услуги);
- некоторые характеристики услуг зависят от региона (транспортное обслуживание, общественное питание).

Схемы сертификации услуг, применяемые в РФ, приведены в табл. 3.

Таблица 3 -Схемы сертификации услуг

№ схемы	Оценка мастерства исполнителя	Оценка процесса оказания услуги	Аттестация предприятия	Сертификация системы качества	Выборочная проверка результата услуги	Инспекционный контроль
1	Оценка мастерства	--	--	--	Выборочная проверка	Проверка результатов услуги
2	--	Оценка процесса	--	--	Выборочная проверка	Контроль стабильности процесса оказания услуги
3	--	--	--	--	Выборочная проверка	Выборочная проверка результата услуги
4	--	--	Аттестация	--	Выборочная проверка	То же
5	--	--	--	Сертификация	--	Контроль стабильности функционирования системы

7 Порядок обязательного подтверждения соответствия

Порядок подтверждения соответствия на примере наиболее сложной процедуры подтверждения соответствия в форме обязательной сертификации можно представить в виде этапов:

- подача заявки на сертификацию;
- оценка соответствия продукции (услуг), системы качества, персонала;
- анализ документов;
- принятие решения;
- оформление и выдача сертификата соответствия;
- оформление и выдача лицензии на применение знака обращения на рынке;
- инспекционный контроль.
- мероприятия по результатам инспекционного контроля.

Подача заявки на сертификацию – заявитель выбирает орган по сертификации и направляет заявку установленной формы. При отсутствии органа по сертификации заявитель может обратиться в территориальный орган Федеральной службы РФ по техническому регулированию и метрологии или иной орган исполнительной власти. Орган по сертификации в течение одного месяца сообщает заявителю своё решение, в котором указаны условия сертификации – схема, наименование испытательной лаборатории, перечень нормативных документов, на соответствие которым будет проведена сертификация.

Оценка соответствия – имеет особенности в зависимости от объекта (схемы) сертификации. Для продукции – аккредитованная испытательная лаборатория осуществляет отбор и идентификацию образцов изделий, проводит испытания, оформляет и передаёт протоколы результатов испытаний заявителю и в орган по сертификации. Если схема предусматривает проверку производства, системы качества комиссия органа по сертификации проводит эти мероприятия и оформляет их актами. Для услуг (работ) орган по сертификации проводит мероприятия, соответствующие принятой схеме.

Анализ документов – протоколы испытаний, акты оценки производства, системы качества, квалификации персонала и иные документы, представленные заявителем, подвергаются анализу, для подготовки решения о соответствии продукции (услуг) требованиям ТР.

Принятие решения – на основании анализа документов, подготовленных органом по сертификации, испытательной лабораторией и представленные заявителем, эксперт составляет заключение, орган по сертификации принимает решение о соответствии продукции (услуг) требованиям ТР.

Оформление и выдача сертификата соответствия, лицензии на применение знака обращения на рынке – если решение положительное, орган по сертификации оформляет и выдаёт сертификат соответствия, лицензию на применение знака обращения на рынке, регистрирует выданные документы в Государственном реестре. Если решение отрицательное, орган по сертификации выдаёт отказ с указанием причин. Форма сертификата соответствия, срок его действия определяются правилами системы сертификации.

В сертификате соответствия продукции указаны:

- регистрационный номер, срок действия сертификата (3…5 лет);
- наименование органа по сертификации, выдавшего сертификат;
- наименование продукции, код по ОКП;
- заявление о соответствии продукции предъявляемым требованиям;
- нормативные документы, на соответствие которым выдан сертификат;
- протоколы исследований, акты проверки производства и иные документы, на основании которых выдан сертификат соответствия;
- подписи эксперта, руководителя органа по сертификации.

Инспекционный контроль – проводит орган, выдавший сертификат соответствия, если инспекционный контроль предусмотрен схемой сертификации. Контроль проходит в виде плановых (один раз в год в течение срока действия сертификата) и внеплановых (при поступлении рекламаций, при внесении существенных изменений в конструкцию изделия) проверок. В инспекционную комиссию входят представители территориального органа Федеральной службы РФ по техническому регулированию и метрологии, обществ потребителей и других заинтересованных организаций. Инспекционный контроль включает анализ информации, полученной в ходе проверок.

По результатам инспекционного контроля эксперт органа по сертификации составляет акт и принимает решение:

- о продолжении действия сертификата соответствия;
- о приостановлении или отмене действия сертификата соответствия.

Отмена действия сертификата соответствия происходит при несоответствии продукции (услуги) требованиям ТР, при изменении нормативного документа на предмет сертификации.

Мероприятия по результатам инспекционного контроля - проводит изготовитель на основании предписания об устранении нарушений требований ТР, выданном органом государственного контроля (надзора).

Обязательное подтверждение соответствия продукции в форме декларирования соответствия, добровольная сертификация проходят по упрощенной процедуре. При добровольной сертификации систему добровольной, а при её отсутствии систему обязательной сертификации, схему сертификации выбирает заявитель. При положительном решении органа по подтверждению соответствия заявитель получает документы установленной формы - декларацию соответствия, сертификат соответствия. Указанные документы имеют одинаковую юридическую силу.

8 Организация деятельности органов по сертификации

Качество сертификации товаров и услуг определяет высокая компетентность и независимость органов по сертификации, а также способность удовлетворять запросы заявителей и других заинтересованных лиц.

Деятельность органа по сертификации должна быть:

- открытой в информационном обеспечении;
- доступной в организационном и финансовом отношениях;
- антидискриминационной по признакам формы собственности и страны нахождения изготовителя (поставщика).

В административную структуру органа по сертификации входят:

- исполнительный директор;
- координационный (управляющий) совет;
- наблюдательный совет;
- комиссия по сертификации;
- комиссия по оценке системы качества;
- апелляционная комиссия;
- испытательная лаборатория.

Исполнительный директор - руководит текущей работой органа по сертификации в области аккредитации.

Координационный (управляющий) совет - обеспечивает деятельность органа по сертификации. Основные функции координационного совета:

- формирование и контроль реализации политики, определяющей деятельность органа;
- контроль стоимости работ по сертификации;
- определение в необходимых случаях состава нештатных специалистов, привлекаемых на договорных условиях для выполнения работ по сертификации;
- организация взаимодействия с национальным органом по сертификации и другими организациями, занимающимися вопросами оценки соответствия.

В координационный совет входят представители всех заинтересованных структур - министерств, служб, агентств, профессиональных ассоциаций, банков, страховых компаний, промышленных предприятий, научных и учебных организаций.

Наблюдательный совет – осуществляет общий надзор за деятельностью органа по сертификации, состоит из представителей организации учредителя.

Комиссии по сертификации и оценке системы качества - изучают отчёты экспертов, проводивших оценку соответствия, и принимают решения о выдаче или отказе в выдаче сертификата соответствия (см. прил.1).

Апелляционная комиссия - рассматривает жалобы, поступившие от заявителей на действия и решения органа по сертификации. В комиссию входят специалисты в области сертификации, независимые юристы.

Испытательная лаборатория – проводит испытания и оформляет протоколы испытаний продукции (см. прил.2), может входить в состав органа по сертификации или быть самостоятельной организацией.

Аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) осуществляют в целях:

- подтверждения компетентности органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работу по подтверждению соответствия;
- обеспечения доверия изготовителей, продавцов и приобретателей к деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- создания условий для признания результатов деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров).

Аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, осуществляют на основе принципов:

- открытости и доступности правил аккредитации;
- компетентности и независимости органов, осуществляющих аккредитацию;
- недопустимости ограничения конкуренции и создания препятствий пользованию услугами органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- обеспечения равных условий лицам, претендующим на получение аккредитации;

- недопустимости совмещения полномочий на аккредитацию и подтверждение соответствия;

- недопустимости установления пределов действия документов об аккредитации на отдельных территориях.

Аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, осуществляют в порядке, установленным Правительством РФ.

Испытания продукции в целях оценки соответствия осуществляют испытательные лаборатории. Испытательная лаборатория может быть самостоятельной организацией, частью органа по сертификации или другой организации. Основные требования, предъявляемые к испытательным лабораториям (центрам):

- обладание статусом юридического лица;

- обеспечение испытаний квалифицированным персоналом, оборудованием, методиками;

- исключение возможности оказания давления на сотрудников с целью фальсификации результатов испытаний;

- предоставление результатов испытаний в виде протоколов установленной формы;

- соблюдение мер секретности конфиденциальной информации и защиты прав собственности.

Сведения о товаре (надёжности, экономичности, технических параметрах) с целью сравнения аналогичных товаров различных производителей получают по результатам *сравнительных испытаний*, проводимых в аккредитованных испытательных лабораториях. Анализ результатов публикуют в специальных изданиях.

Полученные за пределами территории РФ документы о подтверждении соответствия, знаки соответствия, протоколы исследований (испытаний) и измерений продукции могут быть признаны в соответствии с международными договорами РФ. При отсутствии такого договора товары, ввозимые на территорию РФ, проходят процедуру подтверждения соответствия на общих основаниях.

Орган по сертификации и его должностное лицо, нарушившие правила выполнения работ по сертификации, если такое нарушение повлекло за собой выпуск в обращение продукции, не соответствующей требованиям ТР, несут ответственность в соответствии с законодательством РФ.

Аккредитованная испытательная лаборатория (центр), эксперты за предоставление недостоверных или необъективных результатов исследований (испытаний) измерений несут ответственность в соответствии с законодательством РФ.

Финансирование работ в области технического регулирования осуществляют за счёт бюджетных средств, которые идут на:

- проведение государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР;

- создание и ведение Федерального информационного фонда ТР и стандартов;

- реализацию программы разработки ТР, национальных стандартов, а также проведение экспертиз проектов ТР и стандартов;

- разработку общероссийских классификаторов;

- уплату взносов в международные организации по стандартизации.

Средства в федеральный бюджет поступают в виде:

- средств, полученных от заявителей за проведение работ по оценке соответствия;

- штрафов, накладываемых органами государственного контроля (надзора) на юридических и физических лиц;

- средств, вырученных от распространения стандартов, каталогов, справочников.

Расширение международного общественного движения в защиту прав человека и возрастание конкурентной борьбы на товарном рынке привели к повышению внимания к социальной лояльности.

Социальная лояльность – степень выполнения фирмой требований конвенций Международной организации труда (МОТ) и ООН в отношении использования детского труда, принудительного труда, обеспечения безопасности и гигиены работ, рабочего времени и вознаграждения, соблюдения свободы ассоциации и прав заключения коллективных договоров.

Принят международный стандарт SA 8000, который базируется на Всеобщей декларации прав человека, Конвенции ООН о правах ребёнка, рекомендациях Международной организации труда (МОТ), стандартах ИСО. Производители товаров заинтересованы в проведении независимого аудита, сертификации по требованию SA 8000 с целью получения сертификата соответствия социальной лояльности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восстановление в начале двадцать первого века национального промышленного потенциала Российской Федерации, рост поставок по импорту, расширение списка стран партнёров в международной торговле привели к лавинообразному увеличению объёма, расширению номенклатуры товаров и услуг, подлежащих обязательной оценке соответствия. По опыту мировой практики и данным Федерального агентства Российской Федерации и по техническому регулированию и метрологии объём потенциально опасной продукции, подлежащей обязательной сертификации, достигает 80…90% от общего объёма и имеет тенденцию роста.

Практика сертификации в РФ выявила ряд существенных недостатков:

- неэффективность организационных принципов сертификации;
- завышенную номенклатуру товаров и услуг, подлежащих обязательной сертификации;
- необоснованный выбор сложных схем сертификации;
- неравномерное территориальное размещение органов по сертификации и испытательных лабораторий;
- дефицит квалифицированных кадров.

Перечисленные факторы привели к неоправданным материальным, временным, финансовым и людским затратам на организацию и осуществление процедур обязательного подтверждения соответствия.

В начале двадцать первого века в Российской Федерации назрела необходимость совершенствования и оптимизации процедур подтверждения соответствия, увеличения доли товаров и услуг, для которых обязательная сертификация может быть заменена менее затратной формой подтверждения соответствия - декларированием соответствия.

Федеральный закон «О техническом регулировании» предоставил новые возможности по дальнейшему совершенствованию оценки соответствия товаров и услуг обязательным требованиям стандартов.

Дальнейшее совершенствование процедур оценки соответствия является необходимым и определяющим условием роста национального валового продукта, успешной интеграции экономики России в мировую экономическую систему, расширения международного экономического и научно-технического сотрудничества, роста объёма и совершенствования структуры международного товарообмена в интересах нашего государства.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цели, принципы подтверждения соответствия.
2. Характер, формы подтверждения соответствия.
3. Добровольное подтверждение соответствия.
4. Обязательное подтверждение соответствия по форме декларирования.
5. Обязательное подтверждение соответствия по форме сертификации.
6. Участники системы сертификации.
7. Схемы сертификации продукции.
8. Схемы сертификации услуг.
9. Порядок обязательного подтверждения соответствия.
10. Организация деятельности органов по сертификации.
11. Цели, принципы аккредитации органов по сертификации.
12. Финансирование работ по сертификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 711 с.

2. Сертификация. Сборник нормативных документов Российской Федерации. / Под ред. д.т.н., проф. Фомина В.Н., - М.: Ассоциация авторов и издателей «Тандем». Издательство «ЭКМОС». – 2000. - 144 с.

3. Никифоров А.Д., Бакиев Т.А. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Высш. Школа, 2002. – 422 с. : ил.

4. Басаков М.И. Сертификации продукции и услуг с основами стандартизации и метрологии: Учебное пособие. Издание 2-е, испр. и доп. – Ростов на /Д: издательский центр «МарТ», 2002. – 256 с.

5. Федеральный закон «О техническом регулировании». – М.: Ось-89, 2003. – 48 с. (Актуальный закон).

6. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 560 с.: ил.

7. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт-Издат, 2004. – 335 с.

8. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. - 432 с.: ил.

9. Закон Российской Федерации «О защите прав потребителей». – М.: ИКЦ «МарТ», 2004. – 48 с.

10. Яблонский О.П., Иванова В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник. – Ростов на/Д: Феникс, 2004. – 448 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ФОРМА СЕРТИФИКАТА СООТВЕТСТВИЯ НА ПРОДУКЦИЮ

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ
№_____

Срок действия с _____по _____

Орган по сертификации _____
_____
_____

удостоверяет, что должным образом идентифицированная заявителем продукция_____
_____
_____

код К-ОКП

изготовитель (продавец)_____
_____
_____

код ТН ВЭД

соответствует требованиям нормативных документов_____
_____
_____

сертификат выдан на основании_____
_____
_____

дополнительная информация_____
_____
_____

Руководитель органа _____ _____
М.П. подпись инициалы, фамилия
Эксперт _____ _____
подпись инициалы, фамилия

Сертификат имеет юридическую силу на всей территории Российской Федерации

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ФОРМА ПРОТОКОЛА ИСПЫТАНИЙ

Испытательная лаборатория _____
Регистрационный номер РОСС RU_____
Юридический адрес_____

Регистрационный номер пробы (образца)_____

ПРОТОКОЛ
испытаний проб (образцов)
от_____ 200 __ г.

ЗАЯВИТЕЛЬ_____
_____

Наименование пробы (образца)_____
Дата выработки_____
Изготовитель_____
Величина партии_____
Дата получения образца_____
Дата и место отбора проб_____
Дата проведения испытаний_____
Дополнительная информация_____
_____

Проба (образец) испытана на соответствие_____
_____

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Наименование показателей	Результат испытаний	Нормируемые показатели	НД на методы испытаний
1. 2. 3.				

Испытание провели:

_____ _____
подпись (Ф. И. О.)

_____ _____
подпись (Ф. И. О.)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

ТИПЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 05.10. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 13.10. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

Типы распределений

Различают дискретные и непрерывные вероятностные распределения. **Дискретное** распределение характеризуется тем, что оно сосредоточено в конечном или счетном числе точек. **Непрерывное** распределение "размазано" по некоторому вещественному интервалу.

Характеристики распределений

Вероятностное распределение может быть описано несколькими эквивалентными способами. Здесь приведены лишь некоторые из них.

- **Функция распределения**. Определена для любого вещественного распределения. Для случайной величины *X* ее функцией распределения называется
$$F_X(z) = \mathbf{P}(X \le z), \quad -\infty < z < \infty.$$
- **Плотность распределения**. Определена для непрерывных распределений. Представляет собой производную от функции распределения:
$$f_X(z) = F_X'(z), \quad -\infty < z < \infty.$$
- **Функция вероятности**. Альтернативный способ описания дискретных распределений. Если распределение случайной величины *X* сосредоточено в конечном или счетном числе точек x_1, x_2,..., x_n,... то его можно описать вероятностями принятия случайной величиной *X* соответствующих значений:

Значение	x_1	x_2	...	x_n	...
Вероятность	p_1	p_2	...	p_n	...

- Здесь $p_k = f(x_k) = P(X = x_k)$, $k=1,2,...,n,...$

Параметры распределений

Опишем некоторые параметры распределения.

- **Математическое ожидание (среднее значение) E***X* случайной величины *X*. Представляет собой интеграл вида
$$\mathbf{E}X = \int_{-\infty}^{\infty} z dF_X(z).$$
Для непрерывной случайной величины может быть выражено также через плотность ее распределения
$$\mathbf{E}X = \int_{-\infty}^{\infty} z f_X(z) dz,$$
а для дискретной случайной величины - через функцию вероятности:
$$\mathbf{E}X = \sum_k x_k p_k.$$
- **Дисперсия (рассеяние)** случайной величины *X* имеет вид
$$\mathbf{D}X = \mathbf{E}(X - \mathbf{E}X)^2.$$
В классических методах теории риска дисперсия часто использовалась в качестве меры риска, измерителя рискованности проектов.
- **Стандартное отклонение** случайной величины *X* задается выражением
$$\sigma(X) = \sqrt{\mathbf{D}X}.$$
- **Асимметрия** распределения случайной величины *X*:
$$\gamma(X) = \frac{\mathbf{E}(X - \mathbf{E}X)^3}{\sigma^3(X)},$$
характеризует различие "хвостов" распределения; асимметрия положительна при более тяжелом правом хвосте, и отрицательна при более тяжелом левом хвосте. Для симметричных распределений асимметрия равна 0.
- **Островершинность** распределения случайной величины *X*:
$$\varepsilon(X) = \frac{\mathbf{E}(X - \mathbf{E}X)^4}{\sigma^4(X)} - 3,$$
характеризует тяжесть "хвостов" распределения; положительные значения этого параметра соответствуют распределениям с более тяжелыми хвостами, чем у нормального распределения.

- **Медианой** $a = med(X)$ распределения случайной величины X называется корень уравнения

$$F_X(a) = \frac{1}{2}.$$

Медиана является средней характеристикой распределения в том смысле, что X с равными вероятностями принимает значения, лежащие справа и слева от a. Преимуществом медианы перед математическим ожиданием является тот факт, что математическое ожидание может быть неопределенным, если задающий его интеграл (в дискретном случае - ряд) расходится, как, например, в случае распределения Коши. Недостатком медианы является ее возможная неоднозначность для дискретных распределений. Медиана симметричного распределения совпадает с его средним значением (если последнее существует).

- **Модой** распределения называется наиболее вероятное значение случайной величины: в непрерывном случае - точка максимума плотности распределения, в дискретном случае - точка максимума функции вероятности. Мода распределения может быть неоднозначной, и использование этого параметра в теории риска ограничено.

Другие характеристики распределений

Вероятностное распределение может быть описано и другими характеристиками. Среди них:

- **Характеристическая функция**. Определена для произвольных распределений.

$$\varphi_X(z) = E\exp(izX) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(izx)dF_X(x), \quad -\infty < z < \infty.$$

Здесь i - мнимая единица. Для непрерывного распределения характеристическую функцию можно также выразить через плотность распределения:

$$\varphi_X(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(izx) f_X(x)dx, \quad -\infty < z < \infty,$$

а для дискретного распределения - через функцию вероятности

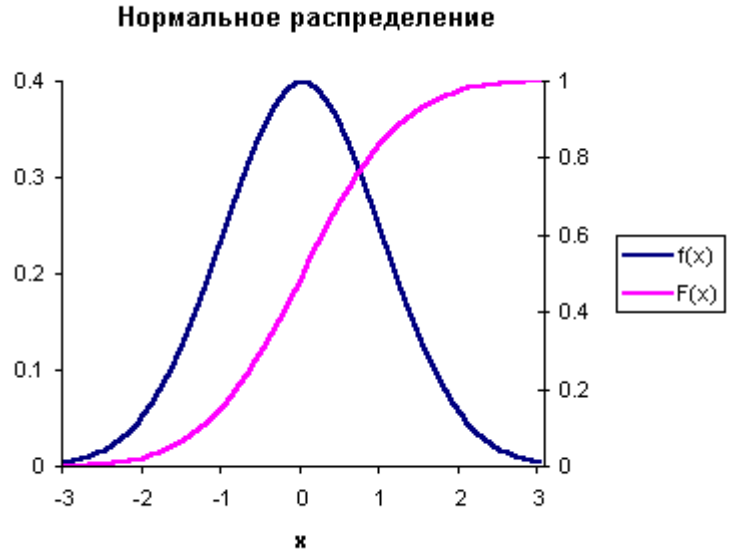
$$\varphi_X(z) = \sum_k \exp(izx_k) p_k, \quad -\infty < z < \infty.$$

Нормальное распределение

Описание

Нормальным называется вещественное непрерывное распределение с плотностью распределения $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$, где μ и σ>0 - параметры распределения. **Стандартным** называется нормальное распределение с параметрами μ = 0 и σ = 1.

На следующем рисунке показаны графики плотности распределения (привязан к левой оси ординат) и функции распределения (привязан к правой оси ординат) с параметрами μ = 0, σ = 1.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик нормального распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
Функция распределения*	$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)dt$
Математическое ожидание	μ
Стандартное отклонение	σ
Дисперсия	σ^2
Асимметрия	0
Островершинность	0
Медиана	μ
Мода	μ
Характеристическая функция	$\varphi(z) = \exp(iz\mu - z^2\sigma^2/2)$

* Функция нормального распределения через элементарные функции не выражается.

Моделирование

Простейший метод воспроизведения значений случайной величины с заданным нормальным распределением для использования в методах Монте Карло состоит из следующих шагов:

Получить 12 независимых значений U_1, ..., U_{12} случайной величины с равномерным распределением на отрезке [0,1].

Вычислить $N = (U_1 + ... + U_{12} - 6)$. Величина N хорошо приближает величину со стандартным нормальным распределением (с параметрами $\mu = 0$, $\sigma = 1$). Преобразованная величина $\sigma N + \mu$ дает желаемый результат.

Распределение Стьюдента

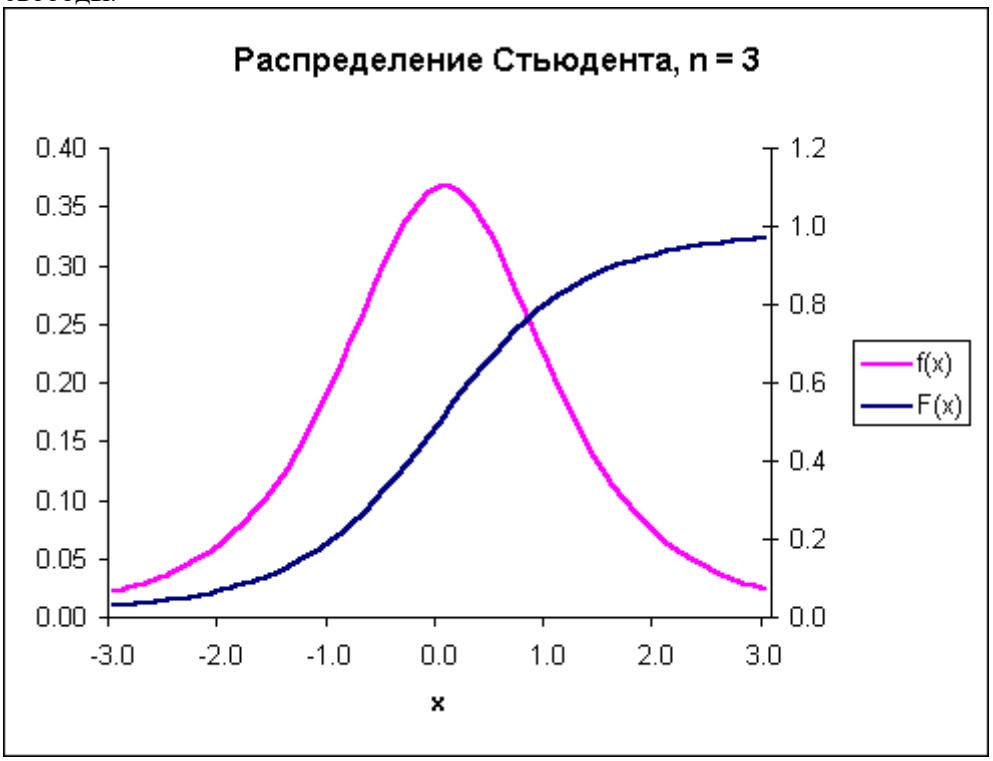
Описание

Распределением Стьюдента с n степенями свободы называется распределение случайной величины

$$t = \xi_0 / ((\xi_1^2 + ... + \xi_n^2)/n)^{1/2}, \quad (1)$$

где ξ_0, ξ_1, ... ξ_n - независимые стандартные нормальные случайные величины. Это распределение непрерывно, его плотность и значения параметров приведены ниже в таблице.

На следующем рисунке показаны графики плотности распределения (привязан к левой оси ординат) и функции распределения (привязан к правой оси ординат) Стьюдента с тремя степенями свободы.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик распределения Стьюдента.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{\Gamma((n+1)/2)}{\sqrt{\pi n}\Gamma(n/2)}\left(1+\frac{x^2}{n}\right)^{-(n+1)/2}$
Математическое ожидание	0, (n > 1)
Стандартное отклонение	$(n/(n-2))^{1/2}$, (n > 2)
Дисперсия	n/(n-2), (n > 2)
Асимметрия	0, (n > 3)
Медиана	0
Мода	0

Моделирование

Воспроизведение значений случайной величины с распределением Стьюдента с n степенями свободы производится по формуле (1).

Таблица функций распределения Стьюдента

Функции распределения Стьюдента

В следующей таблице приведены значения функции распределения Стьюдента $F_n(x)$ с n степенями

свободы для некоторых значений аргумента x в диапазоне от 0 до 20. В заголовках строк указано значение аргумента x, а в заголовках столбцов - количество степеней свободы n. Так, например, $F_5(0.9) = 0.795$.

Для отрицательных x можно вычислить значение функции по формуле $F_n(x) = 1 - F_n(-x)$. Например, $F_{10}(-1.2) = 1 - F_{10}(1.2) = 1 - 0.871 = 0.129$.

x	1	2	5	10	20	50
0	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.1	0.532	0.535	0.538	0.539	0.539	0.540
0.2	0.563	0.570	0.575	0.577	0.578	0.579
0.3	0.593	0.604	0.612	0.615	0.616	0.617
0.4	0.621	0.636	0.647	0.651	0.653	0.655
0.5	0.648	0.667	0.681	0.686	0.689	0.690
0.6	0.672	0.695	0.713	0.719	0.722	0.724
0.7	0.694	0.722	0.742	0.750	0.754	0.756
0.8	0.715	0.746	0.770	0.779	0.783	0.786
0.9	0.733	0.768	0.795	0.805	0.811	0.814
1	0.750	0.789	0.818	0.830	0.835	0.839
1.2	0.779	0.823	0.858	0.871	0.878	0.882
1.4	0.803	0.852	0.890	0.904	0.912	0.916
1.6	0.822	0.875	0.915	0.930	0.937	0.942
1.8	0.839	0.893	0.934	0.949	0.957	0.961
2	0.852	0.908	0.949	0.963	0.970	0.975
2.5	0.879	0.935	0.973	0.984	0.989	0.992
3	0.898	0.952	0.985	0.993	0.996	0.998
3.5	0.911	0.964	0.991	0.997	0.999	1.000
4	0.922	0.971	0.995	0.999	1.000	1.000
4.5	0.930	0.977	0.997	0.999	1.000	1.000
5	0.937	0.981	0.998	1.000	1.000	1.000
6	0.947	0.987	0.999	1.000	1.000	1.000
7	0.955	0.990	1.000	1.000	1.000	1.000
8	0.960	0.992	1.000	1.000	1.000	1.000
9	0.965	0.994	1.000	1.000	1.000	1.000
10	0.968	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000
12	0.974	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
14	0.977	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
16	0.980	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
18	0.982	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
20	0.984	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000

Таблица функции нормального распределения

Функция стандартного нормального распределения

В следующей таблице приведены значения функции стандартного нормального распределения Φ(.) для значений аргумента в интервале от 0 до 4 с шагом 0.01. Каждый элемент матрицы представляет значение функции Φ в точке x, равной сумме заголовков строки и столбца. Например, для нахождения значения Φ в точке 0.26, достаточно взять число из строки 0.2 и столбца 0.06, то есть, Φ(0.26) = 0.6026. Аналогично, Φ(2.31) = Φ(2.3 + 0.01) = 0.9896.

Для отрицательных x можно вычислить значение функции по формуле Φ(x) = 1 - Φ(-x). Например, Φ(-1.67) = 1 - Φ(1.67) = 1 - 0.9525 = 0.0475.

Значения функции нормального распределения $\Phi_{\mu,\sigma}$ с параметрами μ, σ вычисляются по формуле $\Phi_{\mu,\sigma}(x) = \Phi((x - \mu) / \sigma)$.

	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997

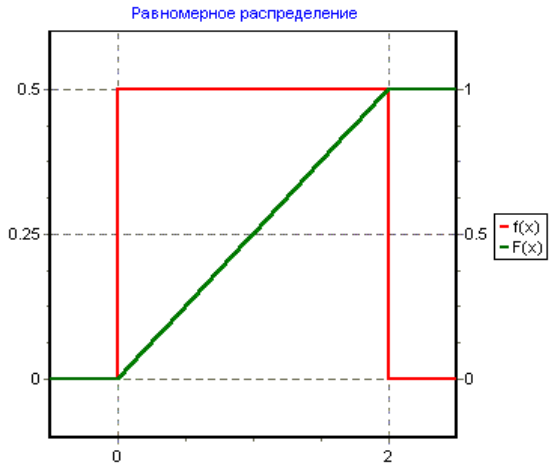
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Равномерное распределение

Описание

Говорят, что случайная величина X имеет **равномерное** распределение на отрезке [a,b], если она непрерывна, принимает значения только на отрезке [a,b], а плотность ее распределения постоянна на отрезке [a,b], и равна 0 вне этого отрезка.

На следующем рисунке показаны графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) равномерного распределения на отрезке [0,2].



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик равномерного распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \begin{cases} (b-a)^{-1}, x \in [a,b] \\ 0, x \notin [a,b] \end{cases}$
Функция распределения	$F(x) = \begin{cases} 0, x < a \\ (x-a)/(b-a), x \in [a,b] \\ 1, x > b \end{cases}$
Математическое ожидание	(a + b) / 2
Стандартное отклонение	(b - a) / $2\sqrt{3}$
Дисперсия	(b - a)^2 / 12
Асимметрия	0
Островершинность	-6/5

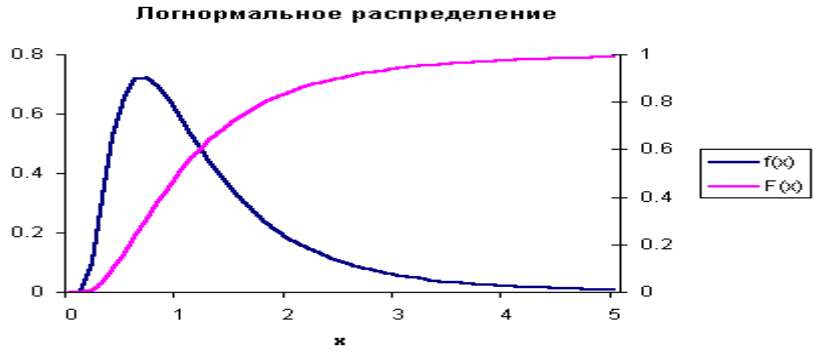
Моделирование

Моделирование значений случайной величины *U* с равномерным распределением на отрезке [0,1] доступно в большинстве современных систем программирования. Например, в языке VBA эту роль выполняет функция Rnd(), а в языках Паскаль и Дельфи - функция random.

Логнормальное распределение

Описание

Говорят, что случайная величина *X* имеет **логнормальное** распределение с параметрами μ, σ, если *X = exp(Y)*, где *Y* имеет нормальное распределение с параметрами μ, σ. Случайная величина с логнормальным распределением является непрерывной, и принимает только положительные значения. Графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) логнормального распределения с параметрами μ = 0, σ = 0.7 приведен на следующем рисунке.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик логнормального распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}x\sigma}\exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
Функция распределения*	$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)dt$
Математическое ожидание	$\exp\left(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2\right)$
Стандартное отклонение	$\exp\left(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{(\exp(\sigma^2)-1)}$
Дисперсия	$\exp(2\mu + \sigma^2)(\exp(\sigma^2)-1)$
Асимметрия	$(\exp(\sigma^2)+2)\sqrt{(\exp(\sigma^2)-1)}$
Мода	$\exp(\mu - \sigma^2)$

* Функция логнормального распределения F через элементарные функции не выражается. Для приближенного вычисления функции этого распределения с параметрами μ, σ можно воспользоваться формулой $F(x) = \Phi_{\mu,\sigma}(\ln x)$, где $\Phi_{\mu,\sigma}$ - функция нормального распределения с параметрами μ, σ, способ вычисления которой описан здесь.

Моделирование

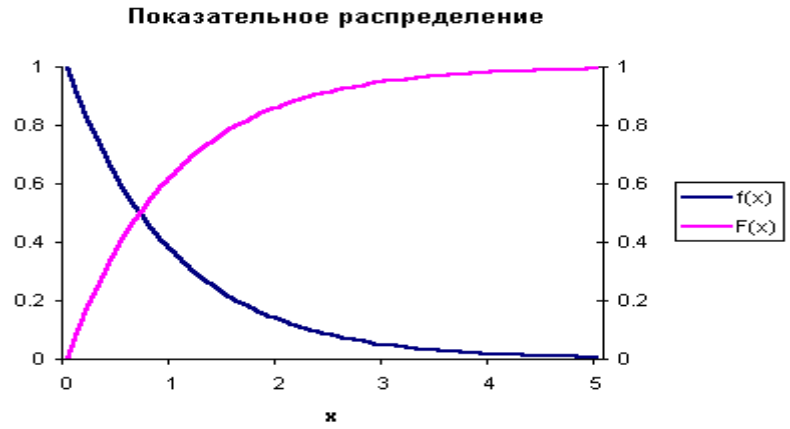
Моделирование значений случайной величины с логнормальным распределением (с параметрами μ, σ) проводится по формуле *X = exp(Y)*, где *Y* имеет нормальное распределение с теми же параметрами. Моделирование нормальных величин описано здесь.

Показательное распределение

Описание

Говорят, что случайная величина X имеет **показательное** распределение с параметром $\lambda > 0$, если она непрерывна, принимает только положительные значения, и имеет плотность распределения $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ при $0 < x < \infty$.

На следующем рисунке показаны графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) показательного распределения с параметром $\lambda = 1$.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик показательного распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$
Функция распределения	$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$
Математическое ожидание	$1 / \lambda$
Стандартное отклонение	$1 / \lambda$
Дисперсия	$1 / \lambda^2$
Асимметрия	2
Островершинность	6
Медиана	$\ln(2) / \lambda$
Мода	0

Моделирование

Моделирование значений случайной величины с показательным распределением (с параметром λ) проводится по формуле $-(\ln U) / \lambda$, где U имеет равномерное распределение на отрезке [0,1]. Моделирование равномерных случайных величин описано здесь.

Гамма распределение

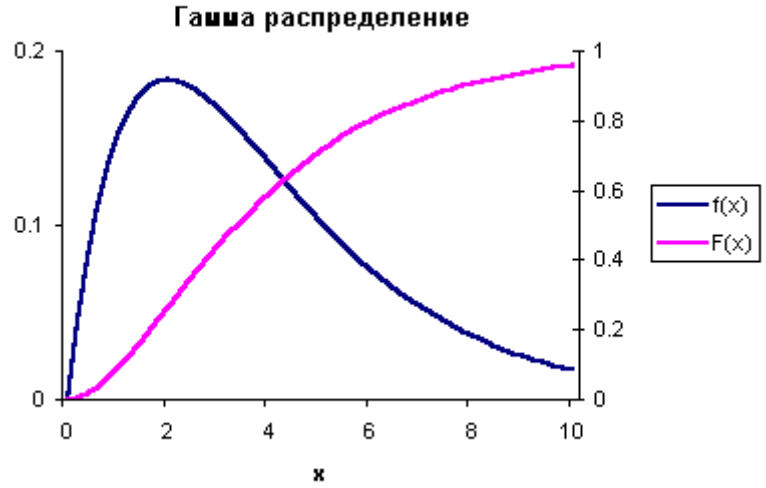
Описание

Говорят, что случайная величина *X* имеет **гамма** распределение с параметрами α > 0, β > 0, если она непрерывна, принимает только положительные значения, и имеет плотность распределения

$$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

.

На следующем рисунке показаны графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) гамма распределения с параметрами α = 2, β = 2.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик гамма распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$
Функция распределения*	$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)dt$
Математическое ожидание	αβ
Стандартное отклонение	$\sqrt{\alpha}\beta$
Дисперсия	$\alpha\beta^2$
Асимметрия	$2/\sqrt{\alpha}$

* Функция гамма распределения через элементарные функции не выражается.

Моделирование

Моделирование значений случайной величины с гамма распределением (с параметрами α, β) при целых значениях α > 0 проводится по формуле $\sum_{k=1}^{\alpha} P_k$, где $P_k, k = 1,\ldots,\alpha$ - независимые реализации показательных случайных величин с параметром 1/β.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Методические указания к выполнению практических занятий по курсу

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Применение методов математической статистики

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 05.10. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 13.10. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

При обработке *результатов физических измерений или химических анализов* большое значение имеет анализ содержащихся в них различного рода погрешностей. Для научно - исследовательских работ характерен небольшой объем измерений, из - за чего затрудняется их статистическая обработка. Знание *методов математической статистики* помогает выявлять закономерности, зависимости. Эти методы позволяют грамотно оценивать результаты своей работы, определять "степень доверия" полученным данным.

В методических указаниях приведены термины, схемы и примеры статистической обработки. Необходимые математические основы и приемы просты, не требуют от экспериментатора специальной подготовки. Для проведения анализа данных не нужно применения сложной вычислительной техники – достаточно калькулятора. Этот анализ не занимает много времени и его желательно проводить при обработке каждой серии экспериментальных данных.

1 Метрология – наука об измерениях

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Все отрасли техники не могли бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукций.

Отраслью науки, изучающей измерения, является *метрология*.

Метрология в ее современном понимании – наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Единство измерений – такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Таким образом, важнейшей задачей метрологии является усовершенствование эталонов, разработка новых методов точных измерений, обеспечение единства и необходимой точности измерений.

Измерение является важнейшим понятием в метрологии.

Существует несколько видов измерений. При их классификации обычно исходят из характера зависимости измеряемой величины от времени, вида уравнения измерений, условий, определяющих точность результата измерений и способов выражения этих результатов.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяются на

- *статические*, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
- *динамические*, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени.

Статическими измерениями являются, например, измерения размеров тела, постоянного давления, динамическими – измерения пульсирующих давлений, вибраций.

По способу получения результатов измерений их разделяют на

- прямые;
- косвенные;
- совокупные;
- совместные.

2 Термины и определения

Термины и определения в соответствии с РМГ 29-99 ГСИ Метрология. Основные термины и определения:

2.1 погрешность результата измерения:

Отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Примечания

1 На практике используют действительное значение величины $x_д$, в результате чего погрешность измерения $\Delta x_{изм}$ определяют по формуле

$$\Delta x_{изм} = x_{изм} - x_д, \quad (2.1)$$

где $x_{изм}$ - измеренное значение величины.

2 Синонимом термина *погрешность измерения* является термин *ошибка измерения*, применять который не рекомендуется как менее удачный.

2.2 систематическая погрешность измерения:

Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Примечание – В зависимости от характера измерения систематические погрешности подразделяют на *постоянные, прогрессивные, периодические* и *погрешности, изменяющиеся по сложному закону*.

Постоянные погрешности – погрешности, которые длительное время сохраняют свое значение, например, в течение времени выполнения всего ряда измерений. Они встречаются наиболее часто.

Прогрессивные погрешности – непрерывно возрастающие или убывающие погрешности. К ним относятся, например, погрешности вследствие износа измерительных наконечников, контактирующих с деталью при контроле ее прибором активного контроля.

Периодические погрешности – погрешности, значение которых является периодической функцией времени или перемещения указателя измерительного прибора.

Погрешности, изменяющиеся по сложному закону, происходят вследствие совместного действия нескольких систематических погрешностей

2.3 неисключенная систематическая погрешность;

Составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка на действие которой не введена вследствие ее малости.

Примечания

1 Иногда этот вид погрешности называют *неисключенный (ные) остаток (остатки) систематической погрешности*.

2 Неисключенная систематическая погрешность характеризуется ее границами.

Границы неисключенной систематической погрешности Θ при числе слагаемых $N \le 3$ вычисляют по формуле

$$\Theta = \pm \sum_{i=1}^{N} |\Theta i|, \quad (2.2)$$

где Θi - граница i-й составляющей неисключенной систематической погрешности.

3 При числе неисключенных систематических погрешностей $N \ge 4$ вычисления проводят по формуле

$$\Theta = \pm K \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Theta_i^2}, \quad (2.3)$$

где K - коэффициент зависимости отдельных неисключенных систематических погрешностей от выбранной доверительной вероятности P при их равномерном распределении (при P=0,99, K=1,4). Здесь Θ рассматривается как доверительная квазислучайная погрешность

2.4 случайная погрешность измерения:

Составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины

2.5 абсолютная погрешность измерения:

Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины

2.6 относительная погрешность измерения:

Погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины.

Примечание – Относительную погрешность в долях или процентах находят из отношений

$$\delta = \frac{\Delta x}{x}, \text{ или } \delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%, \qquad (2.4)$$

где Δx - абсолютная погрешность измерений;

x - действительное или измеренное значение величины

2.7 средняя квадратическая погрешность (отклонение) результатов единичных измерений в ряду измерений:

Оценка S рассеяния единичных результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (2.5)$$

где x_i - результат i-го единичного измерения;

$\bar{x}$ - среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Примечание - –а практике широко распространен термин *среднее квадратическое отклонение* - –СКО).

2.8 средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического;

Оценка $S_{\bar{x}}$ случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в данном ряду измерений, вычисляемая по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \qquad (2.6)$$

где S - средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений, полученная из ряда равноточных измерений; n - число единичных измерений в ряду

2.9 доверительные границы погрешности результата измерений:

Наибольшее и наименьшее значения погрешности измерений, ограничивающие интервал, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результата измерений.

Примечания

1 Доверительные границы в случае нормального закона распределения вычисляются как $\pm tS$, $\pm tS_{\bar{x}}$, где S, $S_{\bar{x}}$ - средние квадратические погрешности, соответственно, единичного и среднего арифметического результатов измерений; t - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n.

2 При симметричных границах термин может применяться в единственном числе - – *доверительная граница*.

3 Иногда вместо термина *доверительная граница* применяют термин *доверительная погрешность* или *погрешность при данной доверительной вероятности*

2.10 поправка:

Значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности.

Примечание - –нак поправки противоположен знаку погрешности. Поправку, прибавляемую к номинальному значению меры, называют *поправкой к значению меры*; поправку, вводимую в показание измерительного прибора, называют *поправкой к показанию прибора*

2.11 точность результата измерений:

Одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

Примечание - читают, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность

2.12 промах:

Погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Примечание - иногда вместо термина "промах" применяют термин *грубая погрешность измерений*

2.13 предельная погрешность измерения в ряду измерений:

Максимальная погрешность измерения (плюс, минус), допускаемая для данной измерительной задачи.

Примечание - о многих случаях погрешность $3S$ принимают за предельную, то есть $\Delta_{пр} = \pm 3S$. При необходимости за предельную погрешность может быть принято и другое значение погрешности (где S - см. термин 9.14)

2.14 погрешность результата однократного измерения:

Погрешность одного измерения (не входящего в ряд измерений), оцениваемая на основании известных погрешностей средства и метода измерений в данных условиях (измерений).

Пример - при однократном измерении микрометром какого-либо размера детали получено значение величины, равное 12,55 мм. При этом еще до измерения известно, что погрешность микрометра в данном диапазоне составляет ±0,01 мм, и погрешность метода (непосредственной оценки) в данном случае принята равной нулю. Следовательно, погрешность полученного результата будет равна ±0,01 мм в данных условиях измерений

2.15 суммарная средняя квадратическая погрешность результата измерений:

Погрешность результата измерений (состоящая из суммы случайных и неисключенных систематических погрешностей, принимаемых за случайные), вычисляемая по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\Theta}^2}, \qquad (2.7)$$

где $S_\Theta = \sqrt{\frac{1}{3}\sum_i \Theta_i^2}$ - средняя квадратическая погрешность суммы неисключенных систематических погрешностей при равномерном распределении (принимаемых за случайные).

Примечание - –оверительные границы суммарной погрешности $(\Delta x)_\Sigma$ могут быть вычислены по формуле

$$(\Delta x)_\Sigma = \pm t_\Sigma S_\Sigma \ , \tag{2.8}$$

где $t_\Sigma = \frac{\Theta + t \cdot S_{\bar{x}}}{S_\Theta + S_{\bar{x}}}$; Θ - граница суммы неисключенных систематических погрешностей результата измерений, вычисляемая по формулам (2.2) или (2.3); $t \cdot S_{\bar{x}}$ - доверительная граница погрешности результата измерений по 2.9

3 Нормальное распределение. Параметры нормального распределения

При хорошо отлаженной методике мы имеем дело со случайными погрешностями, величины которых больше систематических. Таким образом, проводя многократные замеры, мы получаем набор значений измеряемой величины. Какое же из этих полученных значений мы должны считать наиболее близким к истинному? За наиболее вероятное значение измеряемой величины принимают ее среднее арифметическое значение, вычисленное из всего ряда измеренных значений по формуле:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{3.1}$$

Положение о наибольшей вероятности среднеарифметической величины справедливо, если выполняется так называемый *нормальный закон распределения случайных погрешностей* (для большинства простых измерений он выполняется достаточно хорошо, и мы будем пользоваться нормальным распределением).

Важнейшим параметром нормального распределения случайных погрешностей является дисперсия σ^2 **,** которая является характеристикой рассеяния их относительно нуля.

$$\sigma^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{3.2}$$

Удобнее пользоваться для характеристики рассеяния значением квадратного корня из дисперсии, т.е. *среднеквадратическим отклонением погрешности*:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{3.3}$$

При увеличении числа замеров величина S стремится к некоторому пределу σ, квадрат которого называется *дисперсией* и является одной из основных численных характеристик распределения.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x - X_1)^2 + ... + (x - X_n)^2}{n-1}} \tag{3.4}$$

Одна из задач статистической обработки выборки заключается в численном определении среднего арифметического и дисперсии. При обработке экспериментальных данных систему наблюдений над некоторой случайной величиной (результаты измерений распределяются по закону нормального распределения случайных величин) принято рассматривать как случайную выборку из некоторой гипотетической генеральной совокупности, которая представляет собой совокупность всех мыслимых наблюдений над случайной величиной при данных условиях эксперимента. Задача статистического анализа состоит в том, чтобы оценить параметры генеральной совокупности по результатам данной случайной выборки с учетом того элемента неопределенности, который вносится ограниченностью экспериментального материала. В математической статистике принято разделять выборочные параметры и параметры генеральной совокупности. Параметрам генеральной совокупности соответствуют следующие выборочные параметры (таблица 1).

Таблица 1 Соответствие параметров генеральной совокупности и выборочных параметров

Генеральная совокупность	Выборка
μ	X
σ	S_X
σ^2	S_X^2

Параметры выборки X, S_X, S_X^2 при увеличении объема выборки ($n \to \infty$) приближаются к параметрам генеральной совокупности:

$$\lim X = \mu, \lim S_X = \sigma, \lim S_X^2 = \sigma^2,$$

где μ - математическое ожидание (среднее арифметическое, генеральное среднее),

σ - генеральное среднеквадратическое отклонение (стандартное отклонение, стандарт),

σ^2 - генеральная дисперсия (теоретическая дисперсия).

Этим основным параметрам генеральной совокупности соответствуют выборочные параметры:

X - выборочное среднее (среднее выборки),

S_X - среднеквадратическая погрешность выборки,

S_X^2 - выборочная дисперсия.

Следует отметить, что объем генеральной совокупности может быть ограничен каким - то большим, но конечным числом.

Практически мы всегда имеем дело с выборками. Выборкой может быть определенное число реальных объектов (зерен минерала, образцов пород, шлифов) или измерений, наблюдений. Количество объектов выборки обозначают *n*. Как уже упоминалось, цель статистической обработки - оценка параметров генеральной совокупности по данным выборки. Эти *n* объектов выборки подвергаются детальному изучению, по результатам которого рассчитывают характеристики (выборочные параметры); они являются приближенной оценкой истинных характеристик всей реальной совокупности объектов (всей генеральной совокупности).

4 Случайная погрешность: интервальная оценка

Вклад случайной погрешности в общую неопределенность результата измерения можно оценить с помощью методов теории вероятностей и математической статистики.

Ввиду наличия случайной погрешности одна и та же величина x при каждом последующем измерении приобретает новое, непрогнозируемое значение. Такие величины называются *случайными*. Случайными величинами являются не только отдельные результаты измерений x_i, но и средние $\bar{x}$ (а также дисперсии $s^2(x)$ и все производные от них величины). Поэтому $\bar{x}$ может служить лишь *приближенной* оценкой результата измерения. В то же время, используя величины $\bar{x}$ и $s^2(x)$, возможно оценить *диапазон* значений, в котором с заданной вероятностью P может находиться результат. Эта вероятность P называется *доверительной вероятностью*, а соответствующий ей интервал значений - *доверительным интервалом*.

Строгий расчет границ доверительного интервала случайной величины возможен лишь в предположении, что эта величина подчиняется некоторому известному *закону распределения*. Закон распределения случайной величины - одно из фундаментальных понятий теории вероятностей. Он характеризует относительную долю (частоту, вероятность появления) тех или иных значений случайной величины при ее многократном воспроизведении. Математическим выражением закона распределения случайной величины служит ее *функция распределения* (функция плотности вероятности) $p(x)$. Например, функция распределения, изображенная на рисунке 1, означает, что для соответствующей ей случайной величины x наиболее часто встречаются значения вблизи x=10, а большие и меньшие значения встречаются тем реже, чем дальше они отстоят от 10.

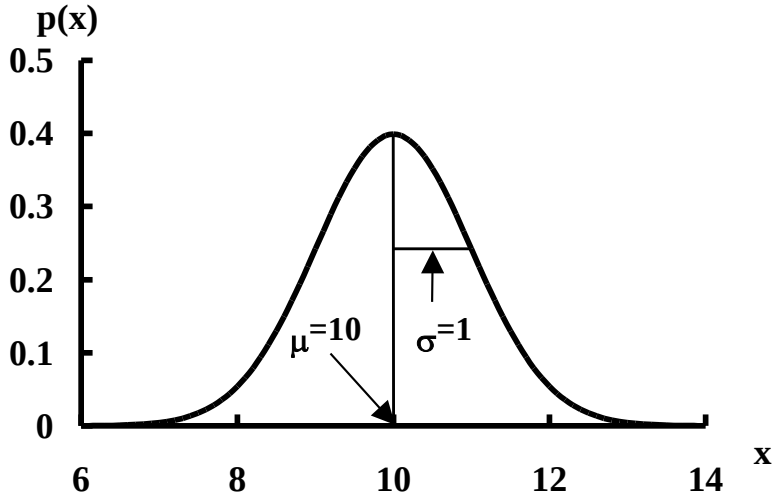


Рисунок 1 *Ф*ункция плотности вероятности $p(x)$

В качестве примера не случайно приведена колоколообразная, симметричная функция распределения. Именно такой ее вид наиболее характерен для результатов химического анализа. В большинстве случаев закон распределения результатов химического анализа можно удовлетворительно аппроксимировать так называемой *функцией нормального* (или *гауссова*) *распределения*:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \qquad (4.1)$$

Параметры этой функции μ и σ характеризуют: μ - положение максимума кривой, т.е. собственно *значение* результата анализа, а σ - ширину "колокола", т.е. *воспроизводимость* результатов. Можно показать, что среднее $\bar{x}$ является приближенным значением μ, а стандартное отклонение $s(x)$ - приближенным значением σ. Естественно, эти приближения тем точнее, чем больше объем экспериментальных данных, из которых они рассчитаны, т.е. чем больше число параллельных измерений n и, соответственно, число степеней свободы f.

В предположении подчинения случайной величины x нормальному закону распределения ее доверительный интервал рассчитывается как

$$x \pm t(P, f)s(x) \tag{4.2}$$

Ширина доверительного интервала нормально распределенной случайной величины пропорциональна величине ее стандартного отклонения. Численные значения коэффициентов пропорциональности t были впервые рассчитаны английским математиком В.Госсетом, подписывавшим свои труды псевдонимом Стьюдент, и потому называются *коэффициентами Стьюдента*. Они зависят от двух параметров: доверительной вероятности P и числа степеней свободы f, соответствующего стандартному отклонению $s(x)$.

Причина зависимости t от P очевидна: чем выше доверительная вероятность, тем шире должен быть доверительный интервал с тем, чтобы можно было гарантировать попадание в него значения величины x. Поэтому с ростом P значения t возрастают. Зависимость t от f объясняется следующим образом. Поскольку $s(x)$ - величина случайная, то в силу случайных причин ее значение может оказаться заниженным. В этом случае и доверительный интервал окажется более узким, и попадание в него значения величины x уже не может быть гарантировано с заданной доверительной вероятностью. Чтобы "подстраховаться" от подобных неприятностей, следует расширить доверительный интервал, увеличить значение t - тем больше, чем менее надежно известно значение s, т.е. чем меньше число его степеней свободы. Поэтому с уменьшением f величины t возрастают.

Коэффициенты Стьюдента для различных значений P и f приведены в табл. 1 (приложение). Проанализируйте ее и обратите внимание на отмеченные закономерности в изменении величин t в зависимости от P и f.

Если единичные значения x имеют нормальное распределение, то и среднее $\bar{x}$ тоже имеет нормальное распределение. Поэтому формулу Стьюдента для расчета доверительного интервала можно записать и для среднего:

$$\bar{x} \pm t(P, f)s(\bar{x}) \tag{4.3}$$

Величина $s(\bar{x})$ меньше, чем $s(x)$ (среднее точнее единичного). Можно показать (с. 27), что для серии из n значений $s(\bar{x}) = s(x)/\sqrt{n}$. Поэтому доверительный интервал для величины, рассчитанной из серии n параллельных измерений, можно записать как

$$\bar{x} \pm \frac{t(P, f)s(x)}{\sqrt{n}} \tag{4.4}$$

где $f=n-1$, а величины $\bar{x}$ и $s(x)$ рассчитывают по формулам (9) и (11).

Пример 1. Для серии значений объемов титранта, равных 9.22, 9.26, 9.24 и 9.27 см^3, рассчитать среднее и доверительный интервал среднего при P=0.95.

Решение. Среднее значение равно $\bar{x} = \frac{9.22 + 9.26 + 9.24 + 9.27}{4} = 9.248$ см^3.

Стандартное отклонение равно

$$s(x) = \sqrt{\frac{(9.22-9.248)^2 + (9.26-9.248)^2 + (9.24-9.248)^2 + (9.27-9.248)^2}{4-1}} = 0.0222 \text{ см}^3.$$

Табличное значение коэффициента Стьюдента $t(P=0.95, f=3)=3.18$.

Доверительный интервал составляет

$$9.248 \pm \frac{3.18 \cdot 0.0222}{\sqrt{4}} = 9.248 \pm 0.035 = 9.25 \pm 0.04 \text{ см}^3.$$

Полученный результат округляем так, чтобы полуширина доверительного интервала содержала только *одну* значащую цифру.

При расчете доверительного интервала встает вопрос о выборе доверительной вероятности *P*. При слишком малых значениях *P* выводы становятся недостаточно надежными. Слишком большие (близкие к 1) значения брать тоже нецелесообразно, так как в этом случае доверительные интервалы оказываются слишком широкими, малоинформативными. Для большинства химико-аналитических задач оптимальным значением *P* является 0.95. Именно эту величину доверительной вероятности (за исключением специально оговоренных случаев) мы и будем использовать в дальнейшем.

Подчеркнем еще раз, что величина доверительного интервала сама по себе позволяет охарактеризовать лишь *случайную* составляющую неопределенности. Оценка систематической составляющей представляет собой самостоятельную задачу.

5 Сравнение результатов анализов. Значимое и незначимое различие случайных величин

Вспомним еще раз, что любой результат измерения (в том числе среднее значение) представляет собой, вообще говоря, случайную величину. Поэтому численное различие двух результатов может быть вызвано случайными причинами и вовсе не свидетельствовать о том, что эти результаты действительно разные. Так, если результаты титрования двух аликвот равны, к примеру, 9.22 и 9.26 см^3, то из этого нельзя заключить, что они имеют разный состав, поскольку случайная погрешность измерения объемов титранта составляет несколько сотых миллилитра (см. пример 1 на с. 13).

Подобное различие случайных величин, которое (при некоторой доверительной вероятности) может быть обусловлено только случайными причинами, в математической статистике называется *незначимым*. Очевидно, что если две величины различаются незначимо, то их можно рассматривать как два приближенных значения одного и того же, общего, результата измерения. Напротив, *значимое*, т.е. превышающее уровень случайных погрешностей, различие свидетельствует о том, что соответствующие величины представляют собой два действительно разных результата. Естественно, различие можно считать значимым только тогда, когда оно достаточно велико. Граница, отделяющая значимые различия от незначимых, называется *критической величиной*. Ее можно рассчитать с помощью методов теории вероятностей.

Таким образом, задача сравнения результатов химического анализа состоит в том, чтобы выяснить, *является ли различие между ними значимым*. Сравнивать данные химического состава (и, шире, - любые экспериментальные данные) по обычным арифметическим правилам недопустимо! Вместо этого следует применять специальные приемы, называемые *статистическими тестами* или *критериями проверки статистических гипотез*. С некоторыми простейшими - и в то же время наиболее важными для химика-аналитика статистическими тестами - мы сейчас познакомимся.

6 Сравнение среднего и константы: простой тест (критерий) Стьюдента

Вернемся к задаче проверки правильности результата химического анализа путем сравнения его с независимыми данными. Проверяемый результат, являясь средним из нескольких параллельных определений, представляет собой случайную величину $\bar{x}$. Результат же, используемый для сравнения, в ряде случаев можно считать точной (действительной) величиной a, т.е. константой. Это может быть тогда, когда случайная погрешность результата, используемого для сравнения, намного меньше, чем проверяемого, т.е. пренебрежимо мала. Например, в способе "введено-найдено" заданное содержание определяемого компонента обычно известно значительно точнее, чем найденное. Аналогично, при использовании СО паспортное значение содержания также можно считать точной величиной. Наконец, и при анализе образца независимым методом содержание компонента может быть определено с точностью, намного превышающей точность проверяемой методики - например, при проверке атомно-эмиссионной методики с помощью гравиметрической (о типичных величинах случайной погрешности различных методов см. с. 9). Во всех этих случаях задача сравнения данных с математической точки зрения сводится к проверке *значимости* отличия случайной величины $\bar{x}$ от константы a.

Для решения этой задачи можно использовать уже известный нам подход, описанный выше (с. 10) и основанный на интервальной оценке неопределенности величины $\bar{x}$. Доверительный интервал для среднего, рассчитанный по формуле Стьюдента (16), характеризует неопределенность значения $\bar{x}$, обусловленную его случайной погрешностью. Поэтому если величина a входит в этот доверительный интервал, утверждать о значимом различии между $\bar{x}$ и a нет оснований. Если же величина a в этот интервал не входит, различие между $\bar{x}$ и a следует считать значимым. Таким образом, полуширина доверительного интервала, равная $\frac{t(P, f)s(x)}{\sqrt{n}}$, является критической величиной для разности $|\bar{x} - a|$: различие является значимым, если

$$|\bar{x} - a| > \frac{t(P, f)s(x)}{\sqrt{n}} \qquad (6.1)$$

Для проверки значимости различия между средним и константой вместо вычисления доверительного интервала можно поступить следующим образом. Легко видеть, что выражение (17) эквивалентно выражению

$$\frac{|\bar{x} - a|}{s(x)}\sqrt{n} > t(P, f) \qquad (6.2)$$

Величина, стоящая в левой части выражения (18), характеризует степень различия между $\bar{x}$ и a с учетом случайной погрешности $s(x)$. Она называется *тестовой статистикой* (и в общем случае обозначается в дальнейшем как ξ) для сравниваемых значений. Коэффициент Стьюдента, стоящий в правой части (18), в этом случае непосредственно является критической величиной. Поэтому для проверки значимости различия между $\bar{x}$ и a можно вычислить соответствующую тестовую статистику и сравнить ее с критическим значением - в данном случае табличным значением коэффициента Стьюдента. Если тестовая статистика превосходит критическое значение, различие между сравниваемыми величинами следует признать значимым.

Описанный способ сравнения случайных величин - вычисление тестовой статистики и сравнение ее с табличным критическим значением - является весьма общим. На таком принципе основано множество *статистических тестов* (или *критериев*) - процедур, призванных установить значимость различия между теми или иными случайными величинами. Тест, представленный формулой (18) и предназначенный для сравнения среднего значения и константы, называется *простым тестом Стьюдента*. В химическом анализе его следует применять всегда, когда возникает задача сравнения результатов анализа с каким-либо значением, которое можно считать точной величиной.

Пример 2. При определении никеля в стандартном образце сплава получена серия значений (% масс.) 12.11, 12.44, 12.32, 12.28, 12.42. Содержание никеля согласно паспорту образца - 12.38 %. Содержит ли использованная методика систематическую погрешность?

Решение. Паспортное содержание никеля считаем действительным (точным) значением и применяем простой тест Стьюдента. Имеем:

$$\bar{x} = 12.314,\ s(x)=0.132,\ n=5,\ f=4,\ a=12.38.$$

$$\xi = \frac{|\bar{x} - a|}{s(x)}\sqrt{n} = \frac{12.38 - 12.314}{0.132}\sqrt{5} = 1.12 < t(P=0.95,\ f=4)=2.78$$

Отличие результата анализа от действительного значения незначимо, методика не содержит систематической погрешности.

7 Сравнение двух средних. Критерий Стьюдента

При интерпретации результатов химического анализа возникают и более сложные задачи. Предположим, необходимо сравнить два результата анализа одного и того же образца, полученные разными методами, и при этом оба результата содержат сравнимые между собой случайные погрешности. В этом случае уже нельзя ни один из результатов считать точной величиной и, соответственно, применять простой тест Стьюдента. Математически задача сводится в этом случае к установлению значимости различия между двумя средними значениями $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$.

Для решения этой задачи используют *модифицированный тест Стьюдента*. Он существует в двух вариантах: точном и приближенном. Точный вариант применяют тогда, когда дисперсии соответствующих величин $s_1^2 = s^2(x_1)$ и $s_2^2 = s^2(x_2)$ различаются незначимо (что, в свою очередь, необходимо предварительно проверить с помощью еще одного статистического теста - теста Фишера, см. следующий раздел). При значимом различии s_1^2 и s_2^2 применяют приближенный вариант (приближение Уэлча).

В точном варианте модифицированного теста Стьюдента тестовая статистика вычисляется как

$$\xi = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\bar{s}(x)}\sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \qquad (7.1)$$

Как видим, по способу вычисления она весьма похожа на тестовую статистику простого теста Стьюдента (см. формулу (18)). В выражении (19) n_1 и n_2 - числа параллельных значений, из которых рассчитаны величины $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$, соответственно, а $\bar{s}(x)$ - *среднее стандартное отклонение*, вычисляемое как

$$\bar{s}(x) = \sqrt{\bar{s}^2(x)} = \sqrt{\frac{f_1 s_1^2 + f_2 s_2^2}{f_1 + f_2}} \tag{7.2}$$

Величины f_1 и f_2 - числа степеней свободы соответствующих дисперсий, равные n_1-1 и n_2-1. Критическим значением служит коэффициент Стьюдента $t(P,f)$ для выбранной доверительной вероятности P (обычно 0.95) и числа степеней свободы

$$f=f_1+f_2=n_1+n_2-2 \tag{7.3}$$

Таким образом, значимое различие между $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ имеет место тогда, когда

$$\frac{\left|\bar{x}_1 - \bar{x}_2\right|}{\bar{s}(x)} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} > t(P, f = n_1 + n_2 - 2) \tag{7.4}$$

В приближении Уэлча тестовая статистика вычисляется следующим образом:

$$\xi = \frac{\left|\bar{x}_1 - \bar{x}_2\right|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \tag{7.5}$$

Критическим значением вновь служит коэффициент Стьюдента $t(P,f)$. Число степеней свободы в этом случае вычисляется как

$$f = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}} \tag{7.6}$$

и округляется до ближайшего целого числа. Приближенный вариант теста Стьюдента недостаточно достоверен, особенно при малых значениях f_1 и f_2.

8 Сравнение дисперсий двух серий данных. Критерий Фишера

Для выбора между точным и приближенным вариантом модифицированного теста Стьюдента необходимо предварительно установить, есть ли значимое различие между величинами s_1^2 и s_2^2, т.е. дисперсий обеих серий данных. Разумеется, задача сравнения дисперсий имеет и вполне самостоятельное значение.

Как и средние $\bar{x}$, дисперсии s^2 тоже представляют собой случайные величины. Поэтому и их сравнение тоже нужно производить с использованием соответствующих статистических тестов. Тест для сравнения двух дисперсий был предложен английским биологом Р.Фишером и носит его имя.

В тесте Фишера тестовой статистикой служит отношение большей дисперсии к меньшей:

$$\xi = \frac{s_1^2}{s_2^2} \tag{8.1}$$

Подчеркнем, что необходимо, чтобы $s_1^2 \geq s_2^2$ и, соответственно, $\xi \geq 1$, в противном случае индексы следует поменять местами. Критическим значением служит специальный *коэффициент Фишера* $F(P, f_1, f_2)$, зависящий от трех параметров - доверительной вероятности P и чисел степеней свободы f_1 и f_2 дисперсий s_1^2 и s_2^2, соответственно. Значения коэффициентов Фишера для стандартной доверительной вероятности P=0.95 приведены в табл. 2 (приложение). Обратите внимание, что $F(f_1, f_2) \neq F(f_2, f_1)$, поэтому при пользовании этой таблицей надо быть очень внимательными.

Если отношение дисперсий (25) меньше, чем соответствующее значение $F(P, f_1, f_2)$, это означает, что различие между s_1^2 и s_2^2 незначимо - дисперсия обеих серий одинакова, - или, как говорят, "дисперсии однородны". В этом случае можно вычислить *среднюю дисперсию* $\bar{s}^2$ по формуле (20) и пользоваться ею как общей характеристикой дисперсий обеих серий. Число степеней свободы этой дисперсии равно $f_1 + f_2$. Если же дисперсии неоднородны, вычисление средней дисперсии, очевидно, лишено смысла.

Еще раз обратим внимание, что тест Фишера предназначен для сравнения только дисперсий результатов, но никак не самих результатов (т.е. средних). Делать какие-либо выводы о различии средних значений, наличии в той или иной серии данных систематической погрешности, различиях в составе образцов и т.д. на основании теста Фишера недопустимо. Для сравнения средних значений после теста Фишера следует применять тест Стьюдента (в той или иной его разновидности).

Пример 3. Примесь тиофена в бензоле (% массовой доли) определяли спектрофотометрическим (1) и хроматографическим (2) методами. Получили следующие серии данных:

(1) 0.12 0.19 0.16 0.14

(2) 0.18 0.32 0.24 0.25 0.28

Известно, что хроматографическая методика не содержит систематической погрешности. Содержит ли систематическую погрешность спектрофотометрическая методика?

Решение. Вычислим средние и дисперсии для обеих серий:

(1) $\bar{x} = 0.153$, $s_1^2 = 8.91 \cdot 10^{-4}$, n_1=4, f_1=3

(2) $\bar{x} = 0.254$, $s_2^2 = 2.68 \cdot 10^{-3}$, n_2=5, f_2=4

Сравним дисперсии серий по тесту Фишера:

$\xi = s_2^2 / s_1^2 = 3.0$ (делим большую дисперсию на меньшую!)

Критическое значение $F(0.95, 4, 3) = 9.1$ (не $F(0.95, 3, 4) = 6.6$!)

$\xi < F$, дисперсии данных одинаковы. Поэтому вычисляем среднее стандартное отклонение и применяем точный вариант теста Стьюдента:

$$\bar{s}(x) = \sqrt{\frac{3 \cdot 8.91 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 2.68 \cdot 10^{-3}}{3+4}} = 0.0437$$

$$\xi = \frac{0.254 - 0.153}{0.0437} \sqrt{\frac{4 \cdot 5}{4+5}} = 3.27 \qquad t(P=0.95, f=7) = 2.37$$

$\xi > t$, средние различаются значимо, спектрофотометрическая методика содержит систематическую погрешность (отрицательную).

Пример 4. В образце сплава определили медь спектрографическим атомно-эмиссионным (1) и титриметрическим (2) методами. Получены следующие результаты (% массовой доли).

(1) 12.1 14.1 13.6 14.8

(2) 13.40 13.75 13.65 13.58 13.60 13.45

Известно, что титриметрическая методика не содержит систематической погрешности. Содержит ли систематическую погрешность атомно-эмиссионная методика?

Решение. Вычислим средние и дисперсии для обеих серий:

(1) $\bar{x}$ = 13.65, $s_1^2 = 1.31$, n_1=4, f_1=3

(2) $\bar{x}$ = 13.57, $s_2^2 = 1.66 \cdot 10^{-2}$, n_2=6, f_2=5

Сравним дисперсии данных по тесту Фишера:

$\xi = s_1^2 / s_2^2 = 78.8$

Критическое значение $F(0.95, 3, 5) = 5.4$. $\xi > F$, дисперсии данных различаются. Для сравнения средних значений применяем приближенный тест Стьюдента-Уэлча:

$$\xi = \frac{13.65 - 13.57}{\sqrt{\frac{1.31}{4} + \frac{1.66 \cdot 10^{-2}}{6}}} = 0.14, \qquad f = \frac{(1.31/4 + 1.66 \cdot 10^{-2}/6)^2}{\frac{(1.31/4)^2}{3} + \frac{(1.66 \cdot 10^{-2}/6)^2}{5}} = 3.05 \sim 3,$$

$t(P=0.95, f=3) = 3.18$. $\xi < t$, значимое различие между средними и систематическая погрешность атомно-эмиссионной методики отсутствуют.

Поскольку случайная погрешность титриметрических данных намного меньше, чем атомно-эмиссионных, можно значение 13.57 считать точной величиной и применить простой тест Стьюдента:

$$\xi = \frac{13.65 - 13.57}{\sqrt{1.31}} \sqrt{4} = 0.14 < t(P=0.95, f=3) = 3.18$$

И в этом случае также делаем вывод об отсутствии систематической погрешности атомно-эмиссионной методики.

9 Выявление промахов. Q-тест

В обрабатываемой серии данных должны отсутствовать промахи (с. 9). Поэтому прежде, чем проводить любую обработку данных (начиная с вычисления среднего), следует выяснить, содержит ли она промахи, и если да, то исключить их из рассмотрения. Для выявления промахов служит еще один статистический тест, называемый Q-тестом.

Алгоритм Q-теста состоит в следующем. Серию данных упорядочивают по возрастанию: $x_1 \le x_2 \le ... \le x_{n-1} \le x_n$. В качестве возможного промаха рассматривают одно из крайних значений x_1 или x_n - то, которое дальше отстоит от соседнего значения, т.е. для которого больше разность x_2-x_1 либо, соответственно, x_n-x_{n-1}. Обозначим эту разность как W_1. Размах всей серии, т.е. разность между максимальным и минимальным значением x_n-x_1, обозначим W_0. Тестовой статистикой является отношение

$$\xi = \frac{W_1}{W_0} \qquad (9.1)$$

Эта величина заключена в пределах от 0 до 1. Чем дальше отстоит "подозрительное" значение от основной массы данных, тем выше вероятность того, что это промах - и тем больше, в свою очередь, величина ξ. Критической величиной служит табличное значение Q-коэффициента $Q(P, n)$ (табл. 3, приложение), зависящее от доверительной вероятности и общего числа данных в серии. Если тестовая статистика превышает критическую величину ($\xi > Q$), соответствующее значение считают промахом и из серии данных исключают. После этого следует проверить на наличие промахов оставшиеся данные (с другим значением Q), поскольку промах в серии может быть не один.

При применении Q-теста вместо стандартной доверительной вероятности, равной 0.95, обычно используют значение P=0.90. Наиболее достоверные результаты получаются при n=5-7. Для серий большего или меньшего размера Q-тест недостаточно надежен.

Пример 5. При спектрофотометрическом анализе раствора органического красителя получены значения оптической плотности, равные 0.376, 0.398, 0.371, 0.366, 0.372 и 0.379. Содержит ли эта серия промахи? Чему равно среднее значение оптической плотности? Охарактеризуйте воспроизводимость измерения оптической плотности для данного образца.

Решение. Располагаем полученные результаты в порядке возрастания:

0.366 0.371 0.372 0.376 0.379 0.398

Разность 0.371-0.366 равна 0.005, а 0.398-0.379 равна 0.019, поэтому кандидат в промахи - значение 0.398, а W_1=0.019. Размах выборки W_0=0.398-0.366=0.032. Тестовая статистика равна ξ = 0.019/0.032 = 0.59. Критическая величина $Q(P=0.90, n=6)$ равна 0.56. Таким образом, $\xi > Q$, значение 0.398 - промах, его следует исключить.

Проверяем оставшуюся серию значений: 0.371-0.366=0.005, 0.379-0.376=0.003, поэтому следующий кандидат в промахи - 0.366. Имеем: W_1=0.005, W_0=0.379-0.366=0.013, ξ = 0.005/0.013 = 0.38, $Q(P=0.90, n=5)$=0.64. $\xi < Q$, значение 0.366 промахом не является.

Среднее значение оптической плотности составляет

$$\bar{x} = \frac{0.366 + 0.371 + 0.372 + 0.376 + 0.379}{5} = 0.373$$

а его стандартное отклонение - $s(x)$ = 0.005. Воспроизводимость охарактеризуем относительным стандартным отклонением (с. 9) $s_r(x)=s(x)/\bar{x}$ = 0.005/0.373 = 0.013.

Обработка серии данных вместе с промахом была бы в этом случае грубой ошибкой и привела бы к серьезному искажению значений $\bar{x}$ и $s(x)$.

Приложение А
(справочное)

Практическая работа 1

Среднее арифметическое. Среднеквадратическое отклонение.

Среднее арифметическое выборки - выборочное среднее - лучшая оценка генерального среднего. Поэтому при измерении какой-либо величины за результат принимается среднеарифметическое результатов отдельных замеров (после исключения систематических погрешностей). Среднее из определений (замеров) обозначается как $\overline{X}$n:

$$X_n = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n}. \qquad (4.1)$$

Среднеквадратическое отклонение результатов измерения S_x - наиболее обоснованная и распространенная мера случайных погрешностей. В случае, когда имеется n единичных измерений величины X, среднеквадратическое отклонение рассчитывается по формуле:

$$S_X = \sqrt{\frac{\left(X_1 - \overline{X}_n\right)^2 + \left(X_2 - \overline{X}_n\right)^2 + \ldots + \left(X_n - \overline{X}_n\right)^2}{n-1}} \qquad (4.2)$$

или

$$S_x = \sqrt{\frac{\left(X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_n^2\right) - \frac{\left(X_1 + X_2 + \ldots + X_n\right)^2}{n}}{n-1}}, \qquad (4.3)$$

где *n* - объем выборки (число замеров), S_x - среднеквадратическое отклонение, X_1, X_2,.....X_n - результаты замеров, $\overline{X}$n - выборочное среднее. Последняя формула более удобна при расчетах на калькуляторах. При вычислениях по этим двум формулам возведение в квадрат должно выполняться без округления результатов (причем точность резко уменьшается при малых n). Величина S_x называется среднеквадратичной погрешностью результатов отдельного измерения. Она имеет ту же размерность, что и переменная *X*. Относительная точность расчета S_x от 50 до 100 относительных %, поэтому для S_x записываются 1 - 2 значащие цифры.

Величина среднеквадратического отклонения выборки S при больших n (~ 100) может быть довольно близка к среднеквадратическому отклонению генеральной совокупности σ. При малых *n* значения *S* могут сильно отличаться от "истинного значения" σ. Поэтому желательно оценивать доверительные интервалы по следующей схеме.

- Рассчитывают среднеквадратическое отклонение S_x по приведенным формулам.
- Задают необходимую доверительную вероятность P. Обычно P= 0.95.

Доверительная вероятность измерений должна задаваться самим экспериментатором. Эта величина, определяющая надежность результатов. Чем более ответственны результаты, тем более высокую доверительную вероятность надо принимать. Для технических и аналитических определений (например состав фаз, параметров элементарной ячейки и

других очень точных измерений) обычно принимается доверительная вероятность 0.95. Для важных измерений (на которых базируется новый закон, новое положение или от которых зависит безопасность людей) P= 0.99.

3.По таблице А.1 для принятой P и *n* находят доверительные границы отклонения величины S_x (в долях S_x) γ γ_1 и γ_2 .

Таблица А.1 Коэффициенты γ_1 и γ_2 для оценки доверительных интервалов погрешностей расчета среднеквадратического отклонения.

	P= 0.95		P= 0.90	
n	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2
2	0.42	32	0.51	16
3	0.52	6.3	0.58	4.4
4	0.57	3.7	0.62	2.9
5	0.60	2.9	0.65	2.4
6	0.62	2.5	0.67	2.1
7	0.64	2.2	0.69	1.9
8	0.66	2.0	0.70	1.8
9	0.68	1.9	0.72	1.7
10	0.69	1.8	0.73	1.6
12	0.71	1.7	0.75	1.5
14	0.73	1.6	0.76	1.5
16	0.74	1.5	0.77	1.4
18	0.75	1.5	0.79	1.4
20	0.76	1.5	0.79	1.4
25	0.78	1.4	0.81	1.3
30	0.80	1.3	0.83	1.3
50	0.84	1.2	0.86	1.2
100	0.88	1.2	0.90	1.1
200	0.91	1.1	0.93	1.1

4. Находят доверительные границы отклонения S_x:

$S_{мин} = S_X \gamma_1$, $S_{макс} = S_X \gamma_2$,

Полученные значения $S_{мин}$ и $S_{макс}$ означают, что с вероятностью P величина S_x лежит между ними. С учетом доверительных интервалов S_x далее рассчитываются доверительные интервалы погрешности измерения.

Рассмотрим пример. S_x = 0.03, *n* = 3. Оценим границы доверительных интервалов.

1. Принимаем P=0.95.

2. По табл. 6 для P=0.95 и *n* = 3 находим γ_1 = 0.52, γ_2 = 6.3.

3. $S_{мин}$ = 0.52 0.03 = 0.015, $S_{макс}$=0.19. Так, с вероятностью 0.95 S_x может находиться в интервале от 0.015 до 0.19.

Следует помнить, что величина среднеквадратического отклонения выборки сама по себе хотя и несет некоторую информацию о параметрах выборки, но не является достаточной характеристикой. Об этом нельзя забывать и считать статистическую обработку законченной.

Пример. При определении состава синтезированного в опыте плагиоклаза получили путем замеров на микрозонде 10 значений X^{Pl}_{An}: 0.30,0.31, 0.28, 0.29, 0.32, 0.31, 0.27, 0.29, 0.29, 0.30. Необходимо определить среднее арифметическое и среднеквадратическую ошибку (S_x) и доверительные интервалы для S_x.

1. Обозначим X^{Pl}_{An} за X, X_1=*0.3,* X_2= 0.31, ..., X_{10}= 0.30.

2. Вычислим среднее

$$X = \frac{X_1 + \ldots + X_{10}}{10} = 0.296 \approx 0.30$$

3. Вычислим S_x

$$S_x = \sqrt{\frac{(0.30 - 0.30)^2 + (0.30 - 0.31)^2 + \ldots + (0.30 - 0.30)^2}{10 - 1}} = 0.015 \approx 0.02.$$

4. Оценим границы доверительного интервала для S_x (n = 10, задаем P= 0.95), по табл. 6 находим (для n = 10 и P= 0.95) величины γ_1 и γ_2 : γ_1 = 0.69, γ_2 =1.8, $S_{мин}$=0.02 0.69 = 0.014 ± 0.01, $S_{макс}$=0.02 1.8 = 0.036± 0.04.

5. Среднее значение X^{Pl}_{An}= 0.30; среднеквадратическая погрешность S_x= 0.02.

6. С вероятностью 0.95 $0.04 \geq S_x \geq 0.01$

Коэффициентом вариации результатов наблюдений (измерений) является относительная величина среднеквадратического отклонения:

$V_x = [S_x / \overline{X} n]$ 100%.

Коэффициент вариации позволяет сравнивать влияние случайных погрешностей на результат измерения в разных сериях или проводимых различными методами.

Приложение Б
(справочное)
Практическая работа 2
Исключение выпадающих (анормальных) результатов измерений («промахи»)

Очень часто при замерах (определениях) какой-либо величины возникают сомнения: надо ли отбрасывать результаты замера, несколько отличающихся от всех, какова значимость такого отклонения. Может быть два варианта существования "анормальных" замеров.

1. Замер принадлежит к той же генеральной совокупности, но вероятность его появления мала. В этом случае его исключать нельзя, и расчеты среднего арифметического и среднеквадратического отклонения необходимо проводить с учетом этого замера.

2. Отклоняющийся результат - следствие погрешности в записи (промаха) и не подчиняется случайным законам отклонения от генерального среднего. В этом случае его надо отбросить.

Решение задачи об отбрасывании какого-либо значения надо проводить с большой осторожностью, предварительно проанализировав условия, в которых он получен. Может быть удастся оценить достоверность этого результата и без вероятностного подхода. В противном случае нужно воспользоваться следующими методами.

1. Среди n результатов находят $X_{мин}$ и $X_{макс}$, которые подлежат проверке.

2. Подсчитывают среднее данной выборки:

$$X = \frac{X_{мин} + X_2 + \ldots + X_{макс}}{n}.$$

3. Подсчитывают выборочное среднеквадратическое отклонение:

$$S_X = \sqrt{\frac{\left(X_{мин} - X\right)^2 + \left(X_2 - X\right)^2 + \ldots + \left(X_{макс} - X\right)^2}{n-1}}.$$

4. Находят следующие отношения:

$$U_{макс} = \frac{X_{макс} - X}{S_X} \text{ и } U_{мин} = \frac{X - X_{мин}}{S_X}.$$

5.Принимают необходимый доверительную вероятность (для наших целей P=0.95).

6. Находят величину β по табл. Б.1 при принятом значении P и выборке объема *n*.

7. $U_{макс}$ и $U_{мин}$, полученные в п. 4, сравнивают с величиной β по п. 6 . Если $U_{макс} \geq \beta$, то проверяемый результат может быть исключен.

Пример. При определении состава синтетического санидина получены следующие содержания K_2O в минерале: 13,1; 12,9; 13,3; 14,1 весовых процентов.

1. Сомнительное значение 14,1.

2. $\bar{X} = \frac{13.1+12.9+13.3+14.1}{4} = 13.4$

3. $S_x = \sqrt{\frac{(13.4-13.1)^2 + (13.4-12.9)^2 + (13.4+13.3)^2 + (13.4-14.1)^2}{4-1}} = 0.5.$

4. $U = \frac{14.111 - 13.44}{0.5} = 1.4.$

5. Принимаем P= 0.95.

6. Для P= 0.95 и n =4 β = 1.46 (по табл. 27). U< β (1.4<1.46), результат 14.1 не может быть исключен.

Другой пример. Было получено 5 значений pH для равновесия минерал - раствор: 4.3, 4.2, 4.3, 4.1, 5.3

1. Необходимо проверить 5.3 .

2.` X=4.4 .

3. $S_x = \sqrt{\frac{(4.4-4.3)^2 + (4.4-4.2)^2 + (4.4-4.3)^2 + (4.4-4.1)^2 + (4.4-5.3)^2}{5-1}} = 0.5$

4. $U = \frac{5.3 - 4.4}{0.5} = 1.8.$

5. Принимаем α= 0.95.

6. По таблице Б.1 β = 1.67 (n = 5, α= 0.95).

7. U> β , результат 5.3 можно исключить.

Таблица Б.1 Коэффициенты β для различных значений доверительной вероятности P.

β	Доверительный интервал P		
n	0.90	0.95	0.99
3	1.15	1.15	1.15
4	1.42	1.46	1.48
5	1.60	1.67	1.72
6	1.73	1.82	1.89
7	1.83	1.94	2.02
8	1.91	2.03	2.13
9	1.98	2.11	2.21
10	2.03	2.18	2.29
11	2.09	2.23	2.36
12	2.13	2.29	2.41
13	2.17	2.33	2.47
14	2.21	2.37	2.50
15	2.25	2.41	2.55
16	2.28	2.44	2.58
18	2.34	2.50	2.66
20	2.38	2.56	2.71

Приложение В
(справочное)

Практическая работа 3

Оценка границ доверительного интервала величины погрешности для малых выборок.

Погрешность анализа определяется по формуле

$$\varepsilon = \pm \frac{t_{an} S_X}{\sqrt{n}},$$

где S_x - среднеквадратическое отклонение, t_n - коэффициент Стьюдента для оценки погрешности при малых n ($n \leq 20$).

Стьюдент - псевдоним английского химика В.Госсета, предложившего в 1908 г. применять коэффициент t_n.

Фактически t_n применяется вместо Z при n<10. При n стремящемся к бесконечности распределение Стьюдента совпадает с нормальным распределением с единичной дисперсией: $t_n = \frac{\varepsilon}{S_x}$; значения коэффициентов приведены в таблице В.1

Таблица В.1 Значения коэффициентов Стьюдента t_n (для двусторонней проверки).

	Доверительная вероятность Р						
n	0.3	0.5	0.8	0.9	0.95	0.99	0.999
2	0.51	1.00	3.1	6.3	12.7(6.3)*	63.7	636.6
3	0.45	0.82	1.9	2.9	4.3(2.9)	9.9	31.6
4	0.42	0.77	1.6	2.4	3.2(2.4)	5.8	12.9
5	0.41	0.74	1.5	2.1	2.8(2.1)	4.6	8.6
6	0.41	0.73	1.5	2.0	2.6(2.0)	4.0	6.9
7	0.40	0.72	1.4	1.9	2.4(1.9)	3.7	6.0
8	0.40	0.71	1.4	1.9	2.4(1.9)	3.5	5.4
9	0.40	0.71	1.4	1.9	2.3(1.9)	3.4	5.0
10	0.40	0.70	1.4	1.8	2.3(1.8)	3.3	4.8
12	0.40	0.70	1.4	1.8	2.2(1.8)	3.1	4.3
14	0.39	0.69	1.4	1.8	2.2(1.8)	3.0	4.2
16	0.39	0.69	1.4	1.8	2.2(1.8)	2.9	4.0
20	0.39	0.69	1.3	1.7	2.1(1.7)	2.9	3.9
30	0.39	0.68	1.3	1.7	2.0(1.7)	2.8	3.7
¥	0.39	0.67	1.3	1.6	2.0(1.6)	2.6	3.3

*В скобках даны величины t_n для Р= 0.95 при односторонней проверке. Проверка называется двусторонней или односторонней в зависимости от того, как оценивать погрешности величины Х - по обе стороны среднего значения (±) или по одну сторону от среднего соответственно.

Рассмотрим еще пример. При измерении плотности минерала получен ряд следующих значений (n=5): 2.75, 2.78, 2.76, 2.77, 2.76. Определить среднее значение и границы доверительного интервала при вероятности P= 0.95.

1. Вычислим $X = \frac{2.75 + 2.78 + 2.76 + 2.77 + 2.76}{5} = 2.76$

$$S_x = \sqrt{\frac{(2.75-2.76)^2 + (2.78-2.76)^2 + (2.76-2.76)^2 + (2.77-2.76)^2 + (2.76-2.76)^2}{5-1}} = 0.06.$$

2. Вычислим S_X

3. По табл. 27 находим: для P= 0.95 и n= 5 t_n = 2.78.

4. Находим $\varepsilon = \pm \frac{t_{an} Sx}{\sqrt{n}} = \frac{2.78 \cdot 0.06}{\sqrt{5}} = 0.07$, если n<20, то $\varepsilon = t_n S_x$.

5. Итак, плотность минерала $\overline{X}$ = 2.76± 0.07, т.е. вероятность отклонения в замерах за интервал ± 0.07 - 5%.

Приложение Г
(справочное)

Практическая работа 4

Сравнение двух выборочных средних при известных параметрах двух выборок.

В практике петрологического эксперимента часто возникает вопрос о значимости различий двух (двух или больше) серий замеров. Например, изменился ли состав минерала в результате опыта (произошло ли смещение реакции) или нет? Для этого необходимо выполнить статистический анализ.

Ход анализа. Гипотеза: средние значения обеих серий замеров совпадают, т.е. в пределах точности различия нет.

1. Устанавливают объем выборок n_1 и n_2.

2. Вычисляют S_1 и S_2 для обеих выборок. Вычисляют $S_{1,2}$:

$$S_{1,2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

3. Вычисляют $$t_{ak}^{p} = \frac{X_1 - X_2}{S_{1,2}\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

4. Принимают доверительную вероятность (P= 0.95).

5. Определяют, какую проверку надо произвести (скорее всего, двустороннюю).

6. По значению P и n находим табличное значение t_n (см. табл.). При этом надо учесть, что по таблице $n=n_1+n_2-1$.

7. Сравнивают абсолютную величину t^p_n с t_n:

а) если $t^p_n > t_n$, гипотеза отбрасывается, т.е. результаты статистически значимы.

б) если $t^p_n \leq t_n$, гипотеза принимается, т.е. разница величин статистически не значима.

Рассмотрим пример. В ходе реакции мольная доля Mg в гранате изменилась от X^{Gr}_{Mg} = 0.21 до X^{Gr}_{Mg} =0.24. Можно ли приписать это изменение только погрешности анализа (другими словами, считать, что состав граната не изменился)? Условия: S_1 и S_2 (для исходного и конечного материалов навески граната) соответственно равны 0.005 и 0.020 при n_1 = 10 и n_2 = 5.

Гипотеза: средние значения не отличаются друг от друга.

1. S_1 = 0.005 и S_2 = 0.02.

2. $$t^{p}_{эк} = \frac{0.24 - 0.21}{0{,}012\sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{5}}} = 4.55.$$

3. Принимаем P= 0.95.

4. Для *P*= 0.95 и двусторонней проверки n =10+5-1=14, t_n = 2.2 (см. табл. 28).

5. Сравниваем рассчитанную величину (t^p_n) с табличным t_n : $t^p_n > t_n$ (4.55 > 2.2). Таким образом, с вероятностью 0.95 произошла реакция с изменением состава граната.

Еще пример. В одном шлифе габбро найдены 2 зерна плагиоклаза состава An_{50} и An_{55} (X^{Pl}_{Ca} = 0.50 и 0.55 соответственно). Можно ли считать составы плагиоклазов одинаковыми? Условия : $S_1 = S_2$ = 0.03, $n_1 = n_2$= 3, P= 0.95.

1. Рассчитываем $S_{1,2}$:

$$S_{1,2} = \sqrt{\frac{(3-1)(0.03)^2 + (3-1)(0.03)^2}{3+3-2}} = 0.03.$$

2. Рассчитываем t^p_n:

$$t^{p}_{эк} = \frac{0.55 - 0.50}{0.03\sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}} = 2.04 \approx 2.0.$$

3. Находим по табл. 28 значения t_n. *n*=3+3-1=5. t_n=2.8.

4. Сравниваем t^p_n и t_n:

$t^p_n < t_n$.

Таким образом, составы плагиоклазов (An_{50} и An_{55}) значимо не различаются, и разница в составах обусловлена лишь погрешностями в определении составов плагиоклазов.

Приложение Г
(справочное)
Практическая работа 5

Аппроксимация экспериментальных зависимостей методом наименьших квадратов (МНК)

До сих пор мы рассматривали погрешности при измерениях какой - либо одной величины. Но бывают случаи, когда необходимо определить зависимость между двумя величинами (X и Y). К ним относятся:

- Оценка силы связи (корреляции) между величинами X и Y.
- Нахождение аналитической зависимости между величинами X и Y (нахождение уравнения регрессии).
- Оценка степени аппроксимации данной зависимости уравнением регрессии.

Примерами могут служить широко используемые зависимости коэффициента распределения компонентов между фазами от температуры ($\ln K_D = A\ 10^3/T+B$) и от состава X одной из фаз ($\ln K_D = AX^2+BX+C$).

Расчет коэффициентов корреляции. Прежде чем находить аналитическую зависимость между величинами X и Y, следует определить, существует ли связь между этими двумя параметрами (например, иногда неясно, зависит ли коэффициент распределения элемента между фазами от состава фаз или от f_{O2} и т.д.). Для решения подобного рода задач проводят корреляционный анализ.

Допустим, что у нас есть набор значений двух величин X и Y. Мы хотим проверить, существует ли зависимость между этими величинами, и оценить ее значимость. Для этого необходимо рассчитать *выборочный коэффициент корреляции* r_{XY}:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}.$$

Полученные значения r_{XY} сравнивают с табличными значениями (табл. 8) для заданной доверительной вероятности и числа экспериментальных данных *n*. Обычно доверительную вероятность (P) выбирают 0.95, что подходит для большинства экспериментальных исследований. Если рассчитанный r_{XY} больше соответствующего (для заданных n и ***P***) значения коэффициента корреляции из таблицы Г.1, то связь между величинами X и Y значима с вероятностью P.

Рассмотрим расчет коэффициента корреляции на конкретном примере**.** Пусть для некоторых двух фаз получен набор значений коэффициентов распределения элементов ($\ln K_D \cong Y$) для приведенной температуры $t^* = 10^3/T \cong X$. Необходимо определить, зависит ли величина $\ln K_D (Y)$ от $t^*(X)$ и велика ли эта связь.

1. Расчеты удобно вести по приведенной формуле, записывая результаты в таблицу типа таблицы Г.2.

Рассчитаем коэффициент корреляции: $r_{XY} = \frac{0.532}{\sqrt{1.099 \cdot 0.274}} = 0.969.$

Таблица Г.1 Значения коэффициентов корреляции (r_{XY}) для различных доверительных вероятностей.

$(r_{X,Y})$	Доверительная вероятность P		
n	0.90	0.95	0.99
2	0.988	0.997	1.000
3	0.900	0.950	0.990
4	0.805	0.878	0.959
5	0.729	0.811	0.917
6	0.669	0.754	0.874
7	0.621	0.707	0.834
8	0.582	0.666	0.798
9	0.549	0.632	0.765
10	0.521	0.602	0.735
12	0.476	0.553	0.684
14	0.441	0.514	0.641
15	0.412	0.482	0.606
18	0.389	0.456	0.575
20	0.369	0.433	0.549
25	0.322	0.381	0.487
30	0.296	0.349	0.449
40	0.257	0.304	0.393
50	0.231	0.273	0.354
60	0.211	0.250	0.325
80	0.183	0.217	0.283
100	0.164	0.195	0.254

Таблица Г.2 Расчет коэффициента корреляции.

n	X_i	Y_i	$X_i - \overline{Y}$	$Y_i - \overline{Y}$	$(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})$	$(X_i - \overline{X})^2$	$(Y_i - \overline{Y})^2$
1	1.00	0.21	- 0.43	- 0.23	0.099	0.185	0.053
2	1.10	0.30	- 0.33	- 0.14	0.046	0.109	0.020
3	1.15	0.28	- 0.28	-0.16	0.045	0.078	0.026
4	1.20	0.27	- 0.23	-0.17	0.039	0.053	0.029
5	1.20	0.38	- 0.23	-0.06	0.014	0.053	0.004
6	1.30	0.37	- 0.13	-0.07	0.009	0.017	0.005
7	1.40	0.43	- 0.03	-0.01	0.000	0.001	0.000
8	1. 40	0.48	- 0.03	0.04	-0.001	0.001	0.002
9	1.50	0.45	0.07	0.01	0.001	0.005	0.000
10	1.60	0.56	0.17	0.12	0.020	0.029	0.014
11	1.70	0.57	0.27	0.13	0.035	0.073	0.017
12	1.80	0.58	0.37	0.14	0.052	0.137	0.020
13	1.80	0.63	0.37	0.19	0.070	0.137	0.036
14	1.90	0.66	0.47	0.22	0.103	0.221	0.048
S	20.05	6.17	-	-	0.532	1.099	0.274
Среднее	1.43	0.44	-	-	-	-	-

2. Задаем доверительную вероятность P = 0.95.

3. Сравниваем расчетную величину r_{XY} = 0.969 с табличными данными (табл. 30) для n = 14, P = 0.95.

4. Расчетный r_{XY} (0.969) больше, чем табличное значение (0.514). Следовательно, существует значимая (на уровне 0.95) связь между lnK_D и t*.

Теперь надо найти **аналитическую зависимость** между ln K_D и t* или в общем случае функциональную зависимость вида Y = f (X).

В результате эксперимента мы получаем для значений аргумента (X_1, X_2, ..., X_n) набор значений функций (Y_1, Y_2, ..., Y_n). Если соединить последовательно точки Y_1, Y_2, ..., Y_n ломаной линией, она не является графическим изображением функции Y = f (X), так как при повторении данной серии опытов мы получим ломаную линию, отличную от первой. Значит, измеренные значения Y будут отклоняться от истинной кривой Y = f (X*)* вследствие статистического разброса. Наша задача состоит в том, чтобы аппроксимировать экспериментальные данные гладкой (не ломаной) кривой, которая проходила бы как можно ближе к истинной зависимости Y = f(X).

Теория вероятности показывает, что наилучшим приближением будет такая кривая (или прямая) линия, для которой сумма квадратов расстояний по вертикали от точек до кривой будет минимальной. Метод нахождения кривой, соответствующей этому условию, и называется *методом наименьших квадратов* (МНК). Фактически это условие минимума соответствует предположению, что разброс точек Yi относительно кривой Y = f (X*)* подчиняется закону нормального распределения. Мерой этого распределения является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Y_i - Y(X_i)\right]^2}{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}}\sum \Delta Y_i^*.$$

Требование минимального разброса соответствует минимальному значению этого среднего квадрата. Обычно форму кривой Y = f (X) задают полиномами вида:

$$Y(X) = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 X^2 + \ldots + \alpha_m X^m.$$

Нахождение коэффициентов этого полинома сводится к минимизации S_x методами математического анализа, к решению уравнений вида:

$$\sum_{j=1}^{n}\left(Yi - \sum_{k=0}^{m} \alpha_k t_j^k\right) t_j^i = 0,$$

где i = 0, 1, 2, ..., *n*; j = 0, 1, 2, ...,*m; m* < *n*-1.

Для решения этих уравнений применяют итерациональный (численный) метод. Фактически без применения компьютера расчет (подбор) коэффициентов αфункции Y = f (X) можно проводить лишь для линейной зависимости: $Y = \alpha_1 X + \alpha_0$ (т.е. $Y = \alpha X + b$).

Для степени m>1 расчет коэффициента α_m выполняется на компьютерах.

Приложение Д
(справочное)
Практическая работа 6
Расчет параметров линейной зависимости $Y = \alpha X + b$.

Приведем уравнения, позволяющие рассчитывать величины a и b без их вывода.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i Y_i) - \bar{X}\sum_{i=1}^{n} Y_i}{\sum_{i=1}^{n}(X_i)^2 - \bar{X}\sum_{i=1}^{n} Xi}; b = \bar{Y} - \alpha\bar{X}.$$

Продолжим рассмотрение предыдущего *примера,* в котором для некоторых 2 фаз была получена следующая зависимость ln K_D(Y) от обратной температуры t* = 10^3 /T(X). Запишем линейное уравнение связи ln K_D(Y) = at*(X) + *b*.

Вычислим величины $X; Y; X_i; Y_i; \sum_{i=1}^{n} Y_i; X_i^2; \sum_{i=1}^{n}(X_i)^2; Y_i^2; \sum_{i=1}^{n}(Y_i)^2$.

Вычисление удобно представить в виде таблицы (таблица Д.1)

Таблица Д.1**.** Расчет параметров линейной зависимости.

n	X_i	Y_i	X_iY_i	Y_i^2	X_i^2
1	1.00	0.21	0.21	0.044	1.00
2	1.10	0.30	0.33	0.090	1.21
3	1.15	0.28	0.32	0.078	1.32
4	1.20	0.27	0.32	0.073	1.44
5	1.20	0.38	0.46	0.144	1.44
6	1.30	0.37	0.48	0.137	1.69
7	1.40	0.43	0.60	0.185	1.96
8	1.40	0.48	0.67	0.230	1.96
9	1.50	0.45	0.68	0.203	2.25
10	1.60	0.56	0.90	0.314	2.56
11	1.70	0.57	0.97	0.325	2.89
12	1.80	0.58	1.04	0.336	3.24
13	1.80	0.63	1.13	0.397	3.24
14	1.90	0.66	1. 25	0.436	3.61
å	20.05	6.17	9.36	2.992	29.81
Среднее	1.43	0.44	0.67	0.213	2.13

Вычислим параметры a и b:

$$\alpha = \frac{9.36 - (1.43 \cdot 6.17)}{29.81 - (1.43 \cdot 20.05)} = \frac{0.537}{1.139} = 0.471,$$
$$b = 0.44 - 0.471 \cdot 1.43 = -0.234.$$

Итак, зависимость **Y = aX + b** или ln K_D = at* +b выражается линейным уравнением ln K_D = 0.471t* - 0.234.

Приложение Е

(справочное)

Практическая работа 7

Расчет точности аппроксимации данных уравнением *Y = aX + b* [1].

Оценив связи между X и Y (t* и ln K_D) (коэффициент корреляции) и найдя линейное уравнение связи, необходимо оценить степень аппроксимации линейным уравнением этой зависимости. Это можно сделать, рассчитывая среднеквадратическое отклонение расчетных значений (Y_p) от экспериментальных (Y_i):

$$S_Y^* = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_p)^2}{n-1}}.$$

Затем рассчитывают погрешность аппроксимации (ε_Y*) по критерию, предварительно задав доверительную вероятность:

$$\varepsilon_Y^* = \frac{t_{an} S_Y^*}{\sqrt{n}}.$$

Рассчитаем значение S_{Y*} и ε_{Y*} для зависимости ln K_D = 0.471t* - 0.234 (таблица Е.1).

Таблица Е.1 Расчет точности аппроксимации.

n	X_i	Y_i	Y_p	$Y_i - Y_p$	$(Y_i - Y_p)^2$
1	1.00	0.21	0.24	- 0.03	0.0009
2	1.10	0.30	0.28	0.02	0.0004
3	1.15	0.28	0.31	- 0.03	0.0009
4	1.20	0.27	0.33	- 0.06	0.0036
5	1.20	0.38	0.33	0.05	0.0025
6	1.30	0.37	0.38	- 0.01	0.0001
7	1.40	0.43	0.43	0.00	0.0000
8	1.40	0.48	0.43	0.05	0.0025
9	1.50	0.45	0.47	- 0.02	0.0004
10	1.60	0.56	0.52	0.04	0.0016
11	1.70	0.57	0.57	0.00	0.0000
12	1.80	0.58	0.61	- 0.03	0.0009
13	1.80	0.63	0.61	0.02	0.0004
14	1.90	0.66	0.66	0.00	0.0000
å	-	-	-	-	0.0142

[1] Подобный расчет можно проводить и для уравнений более высоких степеней.

1. Рассчитаем для заданных X_i по найденному уравнению Y = 0.471X - 0.234 значения Y_p; $(Y_i - Y_p)$; $(Y_i - Y_p)^2$ (табл.13).

2. Вычислим S_{Y*}:

$$S_Y^* = \sqrt{\frac{0.0142}{14-1}} = 0.033$$

3. Выберем ***P***= 0.95 и по табл. 28 для n =14 найдем t_n = 2.2.

4. Вычислим величину ε_Y*:

$$\varepsilon_Y^* = \frac{t_{an} S_Y^*}{\sqrt{n}} = \frac{2.2 \cdot 0.033}{\sqrt{14}} = 0.22$$

Итак, уравнение Y= 0.471X - 0.234 описывает экспериментальную зависимость ln K_D = (Y) от t* (X) с погрешностью 0.02 для доверительной вероятности P= 0.95. Практически это означает, что с вероятностью 0.95 все экспериментальные точки будут находиться в пределах ± 0.02 от расчетной прямой.

Порядок обработки зависимости двух параметров следующий:

1. Рассчитывается коэффициент корреляции r_{XY}.

2. По табл. 10 оценивается (для выбранного значения Ри количества пар X и Y-n) значимость связи X и Y.

3. Находятся коэффициенты линейного уравнения связи $Y = \alpha X + b$.

4. Вычисляется S^*_Y (среднеквадратическое отклонение кривой $Y = \alpha X + b$ от экспериментальных точек).

5. Задаем доверительную вероятность P. Обычно P= 0.95.

6. По табл. 28 находим значение t_n для выбранного Ри количества точек (пар) - n.

7. Рассчитываем погрешность аппроксимации по формуле:

$$\varepsilon_Y^* = \pm \frac{t_{an} Sx}{\sqrt{n}},$$

Приложение Ж
(справочное)

Алгоритм обработки результатов измерений

В заключение напомним **порядок статистической обработки серии измерений**. С подобной работой наиболее часто приходится сталкиваться экспериментатору:

1. Вычисляется среднее арифметическое выборки (из n результатов измерений):

$$X = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i .$$

2. Находятся погрешности отдельных измерений: $\Delta = X - X_i$.

3. Вычисляется среднеквадратическое отклонение результатов измерений:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta X_i^2}{n-1}}$$

4. Если один результат измерений (или несколько) резко отличается от остальных, то следует проверить, не является ли этот результат промахом, предварительно выбрав уровень значимости q (для большинства наших измерений q = 0.95.

5. Определяется коэффициент Стьюдента $t_{p,n}$ для доверительной вероятности P и числа измерений n (см.табл).

6. Находят границы доверительного интервала:

Доверительные границы в случае нормального закона распределения вычисляются как

$$\pm tS/\sqrt{n}\,,\ \pm tS_{\bar{x}}\,,$$
$$\Delta x = S_x \cdot t_{P,n}$$

где S, $S_{\bar{x}}$ - средние квадратические отклонения (погрешности), соответственно, единичного и среднего арифметического результатов измерений;

где $t_{p,n}$ - коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n.

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}\,, \qquad \varepsilon = t_{an}\frac{S_x}{\sqrt{n}}.$$

7. Окончательный результат записывается в виде $X = \overline{X} \pm \varepsilon$;

8. Вычисляется коэффициент вариации данной серии замеров: $V_x = \frac{S_x}{\overline{X}} 100\%$.

Приложение З
(справочное)
Измерения физических величин

З.1 измерение физической величины;

Совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Примеры

1 В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали).

2 С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Примечания

1 Приведенное определение понятия "измерение" удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение в деле упорядочения системы понятий в метрологии. В нем учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины).

2 От термина "измерение" происходит термин "измерять", которым широко пользуются на практике. Все же нередко применяются такие термины, как "мерить", "обмерять", "замерять", "промерять", не вписывающиеся в систему метрологических терминов. Их применять не следует.

Не следует также применять такие выражения, как "измерение значения" (например, мгновенного значения напряжения или его среднего квадратического значения), так как значение величины - это уже результат измерений.

3 В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины) практикуется *оценивание* таких величин по условным шкалам

З.2 равноточные измерения

Ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Примечание - Прежде чем обрабатывать ряд измерений, необходимо убедиться в том, что все измерения этого ряда являются равноточными

З.3 неравноточные измерения

Ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Примечание - Ряд неравноточных измерений обрабатывают с учетом веса отдельных измерений, входящих в ряд

З.4 однократное измерение

Измерение, выполненное один раз.

Примечание - Во многих случаях на практике выполняются именно однократные измерения. Например, измерение конкретного момента времени по часам обычно производится один раз

З.5 многократное измерение

Измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений

3.6 статическое измерение

Измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Примеры

1 Измерение длины детали при нормальной температуре.

2 Измерение размеров земельного участка

3.7 динамическое измерение

Измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Примечания

1 Терминоэлемент "динамическое" относится к измеряемой величине.

2 Строго говоря, все физические величины подвержены тем или иным изменениям во времени. В этом убеждает применение все более и более чувствительных средств измерений, которые дают возможность обнаруживать изменение величин, ранее считавшихся постоянными, поэтому разделение измерений на динамические и статические является условным

3.8 абсолютное измерение

Измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Пример - Измерение силы $F = mg$ основано на измерении основной величины - массы m и использовании физической постоянной g (в точке измерения массы).

Примечание - Понятие *абсолютное измерение* применяется как противоположное понятию *относительное измерение* и рассматривается как измерение величины в ее единицах. В таком понимании это понятие находит все большее и большее применение

3.9 относительное измерение

Измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Пример - Измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности

3.10 прямое измерение

Измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.

Примечание - Термин *прямое измерение* возник как противоположный термину *косвенное измерение*. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В этом случае лучше применять термин *прямой метод измерений*.

Примеры

1 Измерение длины детали микрометром.

2 Измерение силы тока амперметром.

3 Измерение массы на весах

3.11 косвенное измерение

Определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Пример - Определение плотности D тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы m, высоты h и диаметра цилиндра d, связанных с плотностью уравнением

$$D = \frac{m}{0{,}25\pi d^2 h}.$$

Примечание - Во многих случаях вместо термина *косвенное измерение* применяют термин *косвенный метод измерений*

3.12 совокупные измерения

Проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

Примечание - Для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин.

Пример - Значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь

3.13 совместные измерения

Проводимые одновременно измерения двух или нескольких неодноименных величин для определения зависимости между ними

3.14 наблюдение при измерении

Операции, проводимые при измерении и имеющие целью своевременно и правильно произвести отсчет.

Примечание - Не следует заменять термин *измерение* термином *наблюдение*

3.15 вид измерений

Часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

Пример - В области электрических и магнитных измерений могут быть выделены как виды измерений: измерения электрического сопротивления, электродвижущей силы, электрического напряжения, магнитной индукции и др.

3.16 подвид измерений

Часть вида измерений, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.).

Пример - При измерении длины выделяют измерения больших длин (в десятках, сотнях, тысячах километров) или измерения сверхмалых длин - толщин пленок

3.17 физическая величина

Одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

3.18 Измеряемая физическая величина;

Физическая величина, подлежащая измерению, измеряемая или измеренная в соответствии с основной целью измерительной задачи

3.19 размер физической величины;

Количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу

3.20 значение физической величины;

Выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц

3.21 числовое значение физической величины;

Отвлеченное число, входящее в значение величины

3.22 истинное значение физической величины;

Значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

Примечание - Истинное значение физической величины может быть соотнесено с понятием абсолютной истины. Оно может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений

3.23 действительное значение физической величины;

Значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него

3.24 результат измерения физической величины;

Значение величины, полученное путем ее измерения

3.25 неисправленный результат измерения;

Значение величины, полученное при измерении до введения в него поправок, учитывающих систематические погрешности

3.26 исправленный результат измерения;

Полученное при измерении значение величины и уточненное путем введения в него необходимых поправок на действие систематических погрешностей

3.27 сходимость результатов измерений;

сходимость измерений

Близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Примечание - Сходимость измерений двух групп многократных измерений может характеризоваться размахом, средней квадратической или средней арифметической погрешностью

3.28 воспроизводимость результатов измерений

Близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

Примечание - Воспроизводимость измерений может характеризоваться средними квадратическими погрешностями сравниваемых рядов измерений

3.29 ряд результатов измерений

Значения одной и той же величины, последовательно полученные из следующих друг за другом измерений

3.30 среднее взвешенное значение величины;

Среднее значение величины из ряда неравноточных измерений, определенное с учетом веса каждого единичного измерения (см. 8.8).

Примечание - Среднее взвешенное значение иногда называют *средним весовым*

3.31 вес результата измерений;

Положительное число (p), служащее оценкой доверия к тому или иному отдельному результату измерения, входящему в ряд неравноточных измерений.

Примечание - В большинстве случаев принято считать, что веса входящих в ряд неравноточных измерений обратно пропорциональны квадратам их средних квадратических погрешностей, т.е. $p_i = 1/S_i^2$. Для простоты обычно результату с большей погрешностью приписывают вес, равный единице (p =1), а остальные веса находят по отношению к нему.

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(справочное)

Систематические погрешности

Систематические погрешности можно подразделить на следующие группы.

1. Погрешности, природа которых нам известна и величина которых может быть достаточно точно определена. Такие погрешности могут быть исключены введением соответствующих поправок. К погрешностям такого рода можно отнести "дрейф" рентгеновского дифрактометра: для каждой серии замеров можно ввести поправку, введя так называемый "стандарт" - вещество, для которого точно известны положения пиков на дифрактограммах. Определив поправки, можно проводить дальнейшие измерения, не вводя стандарт в исследуемый образец.

2. Другой вид систематических погрешностей - это погрешности известного происхождения, но неизвестной величины. К их числу относятся погрешности измерительных приборов. Если на приборе указан класс точности 0,5, то это означает, что показания прибора верны с точностью до 0,5% от всей действующей шкалы прибора. Систематической погрешностью такого типа будет погрешность в определении давления манометром (класс 0.5), рассчитанного на измерение давления 4000 атм. Это значит, что давление мы измеряем с точностью 0.5% от всей шкалы, т.е. 20 атм. Систематические погрешности этого типа не могут быть исключены, но их наибольшее значение, как правило, известно. Если, измеряя давление, мы получили значение 2000 атм, то можем написать P= 2000± 20. Здесь ± 20 означает, что давление лежит в пределах от 1980 до 2020.

3. Третий вид систематических погрешностей - самый опасный, это погрешности, о существовании которых мы не подозреваем, хотя величина их может быть очень значительна. Они чаще всего появляются при сложных измерениях. Иногда бывает, что величина, которая измерена, как нам кажется, с точностью 2 - 3%, оказывается в 2 - 3 раза больше или меньше найденной величины. Например, измеряя скорость диффузии какого - либо элемента в твердой фазе, мы можем не учесть, что в данном образце существует сеть дислокаций, за счет которых скорость диффузии увеличится в несколько раз. Распознать такую ошибку будет трудно, т. к. повторные замеры распределения компонентов на микроанализаторах будут давать одну и ту же картину, а краевые зоны разных образцов будут иметь одну и ту же высокую плотность дислокаций. Такая погрешность может быть выявлена только при тщательной проверке всех этапов эксперимента, используя разные методики приготовления образцов и т. п.

Таким образом, при проведении эксперимента необходимо тщательно проанализировать все возможные источники систематических погрешностей и исключить их (если это возможно).

Разделение систематических и случайных погрешностей до некоторой степени условно. Можно предвидеть ситуацию, в которой систематическая погрешность неизвестного происхождения будет трудно выявляться и не учитываться. В то же время источниками случайных погрешностей могут быть неконтролируемые изменения параметров эксперимента в сложной системе: изменения внешней (по отношению к изучаемой системе) среды, неоднородность материала исходной навески. Фактически, если эти изменения происходят достаточно быстро, то они должны рассматриваться как фактор, способствующий появлению случайных погрешностей.

Случайные погрешности неустранимы из опытных данных, но они могут быть выявлены и количественно оценены при математической обработке экспериментальных данных, в чем и заключается основная цель статистического анализа.

Интересно рассмотреть соотношения величин систематических и случайных погрешностей. Возможны два случая. 1) Величина систематической погрешности больше величины случайной. В этом случае, проводя серию опытов, мы будем получать постоянные значения какой - либо величины; подобный вариант встречается сравнительно редко и чаще всего связан с недостаточной чувствительностью измерительного прибора. 2) Случайные погрешности больше систематических. Ясно, что для повышения точности измерений в первом случае надо уменьшать величину систематической погрешности (повысить чувствительность прибора) до тех пор, пока она не станет меньше случайной погрешности. Во втором - необходимо уменьшить величину случайной погрешности, это можно сделать, увеличивая количество измерений. В работе экспериментатора чаще всего встречается вторая ситуация, и повысить точность измерений можно, только увеличивая их число. Это не всегда возможно из соображений времени, экономики и т.д. В этом случае мы можем только приближенно оценить нижний предел возможной погрешности по так называемым приборным погрешностям. Реальная величина погрешности может быть значительно выше.

ПРИЛОЖЕНИЕ К
(справочное)
Запись чисел. Правила округления

Результаты любого эксперимента выражаются цифрами. Запись должна быть подчинена определенным правилам, произвол в этом деле недопустим. В этом смысле говорят о правильной и неправильной записи результатов. Следует иметь в виду, что неправильная запись может значительно обесценивать результаты даже блестящей экспериментальной работы, поэтому вопрос этот более серьезен, чем может показаться. Общее правило записи таково: она должна содержать только значащие цифры. Значащими считаются все цифры, кроме нулей в начале десятичной дроби (слева от запятой) и нулей в конце числа, если они поставлены вместо неизвестных цифр.

Рассмотрим пример. В качестве условий проведения опыта указано P = 30 000 бар. Если все эти цифры значащие, то нули обозначают отсутствие единиц соответствующих разрядов, другими словами, мы ручаемся за то, что точность нашего измерения давления не хуже ± 1 бар. На самом деле это далеко не так: точность ниже на три порядка. Поэтому приведенная запись неверна, она создает совершенно ложное представление о точности эксперимента. Правильной записью будет 30 х 10^3 бар или 30 кбар. В такой записи только две значащие цифры, и последняя из них соответствует реальной точности эксперимента.

Другой пример. В результате серии измерений определена плотность ρ = 13,60 г / см ^{3}. В этой записи 4 значащие цифры, т.е. плотность измерена с точностью до единицы во втором знаке после запятой - до ± 0,01 г/см^3 . Если бы реальная точность составляла только ± 0,1 г/см^3, правильной записью было бы 13,6 г/см^3. Пусть, однако, при реальной точности ± 0,01 г/см^3 шкала измерительного прибора позволяет получать значение в следующем разряде (тысячные доли г/см^3). Как поступить с этими значениями? Очевидно, что просто отбросить их было бы неверно, ибо значения, например, 13,615 и 13,605 г/см^3 заметно отличаются. Такие цифры (в данном случае 0,00n г/см^3) называются сомнительными; это значит, что n может принимать любое значение в пределах от 1 до 10. При записи результатов можно поступать двояко:

а) отбрасывать все приближенные цифры,

б) оставлять последней приближенную цифру ("принцип А.Н. Крылова"). Например, число 1,9931 (0,0031 - сомнительные цифры) записывается в первом варианте как 1,99, а во втором – 1,993 (сохраняя последнюю сомнительную цифру 3).

В приведенных примерах мы провели *округление* результата. Округлением числа называется уменьшение числа значащих цифр. Правила округления сводятся к следующему:

- *если отбрасывается цифра меньше 5, то предпоследняя цифра оставляется без изменения: 1,9932 → 1,993;*
- *если отбрасывается цифра больше 5, то предпоследняя цифра увеличивается на единицу: 1,9937→ 1,994;*
- *если отбрасывается цифра 5, то предпоследняя цифра:*
останется неизменной, если перед ней четное число: 1,9925 → 1,992.
увеличится на единицу, если перед ней нечетное число: 1,9935 → 1,994.

Запись надо вести так, чтобы все значащие цифры были верны, и лишь последняя была бы приближенной:
не Д = 1,4231 ± 0,005, а 1,413 ± 0,005, не Р = 38,742 ± 0,04 , а 38,74 ± 0,04.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Оценка погрешности косвенных измерений

При косвенных измерениях искомая физическая величина А является функцией величин X, У , Z ...., которые могут быть получены с помощью прямых измерений. Результат косвенного измерения записывается в виде:

$$A \pm \Delta A$$

где $A = f(X, Y, Z, \ldots)$ - значение искомой величины, рассчитанное по средним значениям параметров X , Y, Z, ..., каждый из которых измеряется, как правило, по несколько раз. ΔА - абсолютная погрешность косвенного измерения. зависящая от погрешностей параметров X , Y , Z, ... (т.е. от ΔX , ΔY , ΔZ , ...).

В простейших случаях абсолютную и относительную погрешность косвенных измерений подсчитать нетрудно. Рассмотрим несколько примеров.

Пусть А = X + У. Если известны погрешности ΔX и ΔY , то

$$A \pm \Delta A = (X \pm \Delta X) + (Y \pm \Delta Y)$$

Максимальное значение погрешности равно при этом

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y.$$

Такова же будет максимальная абсолютная погрешность при A = X – Y.

Таким образом, относительные погрешности величин, являющихся суммой или разностью двух параметров, равны соответственно :

$$E = \frac{\Delta X + \Delta Y}{X + Y} \quad \text{и} \quad E = \frac{\Delta X + \Delta Y}{X - Y}$$

Пусть теперь A = X·Y - тогда

$$A \pm \Delta A = (X \pm \Delta X)(Y \pm \Delta Y) = X \cdot Y \pm X \cdot \Delta Y \pm Y \cdot \Delta X + \Delta X \cdot \Delta Y$$

Пренебрегая слагаемым второго порядка малости |ΔX· ΔY| имеем:

$$\Delta A = X \cdot \Delta Y + Y \cdot \Delta X$$

$$E = \frac{X \cdot \Delta Y + Y \cdot \Delta X}{X \cdot Y} \quad \text{или} \quad E = \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta Y}{Y}$$

Если $A = \frac{X}{Y}$, то $A \pm \Delta A = \frac{X \pm \Delta X}{Y \pm \Delta Y}$.

Максимальное значение погрешности ΔА получится в случае, если погрешности в числителе и в знаменателе данного выражения взять с разными знаками. Тогда можно записать:

$$A \pm \Delta A = \frac{X + \Delta X}{Y - \Delta Y} = \frac{(X + \Delta X)(Y + \Delta Y)}{(Y - \Delta Y)(Y + \Delta Y)} = \frac{XY + Y \cdot \Delta X + X \cdot \Delta Y}{Y^2}$$

Здесь мы пренебрегли членами $(\Delta Y)^2$ и ΔX· ΔY . Максимальная абсолютная погрешность равна в этом случае

$$\Delta A = \frac{Y \cdot \Delta X + X \cdot \Delta Y}{Y^2},$$

а относительная погрешность равна

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta Y}{Y}$$

Полученные результаты легко обобщаются на произвольное количество сомножителей. Если в самом общем случае

$$A = C\frac{X^{\alpha} \cdot Y^{\beta} \cdot \ldots}{Z^{\gamma}},$$

где C — постоянный коэффициент, а α, β, γ, ... — любые целые или дробные числа, то относительную погрешность косвенного измерения величины A можно записать в виде :

$$E = \frac{\Delta A}{A} = \alpha\frac{\Delta X}{X} + \beta\frac{\Delta Y}{Y} + \gamma\frac{\Delta Z}{Z} + \ldots$$

Простота последнего выражения указывает на то, что в большинстве случаев удобно оценить сначала относительную погрешность косвенного измерения, а потом уже найти его абсолютную погрешность. Следует, однако, обратить внимание на то обстоятельство, что приведенные формулы применимы только в том случае, если параметры X , Y , Z , ... не зависят друг от друга. Если же, к примеру, $A = Z/Y$, где Z = X + Y расчет приведет к неправильному результату, т.к. погрешности одной и той же величины Y будут приписаны различные знаки, поскольку указанная величина фигурирует как в числителе, так и в знаменателе исходного выражения.

Более общие правила вычисления погрешностей, позволяющие избежать подобных ошибок, можно получить, используя дифференциальное исчисление.

Пусть по-прежнему A = *f*(X, Y, Z, …) . Тогда относительную погрешность косвенного измерения $E = \frac{\Delta A}{A}$ можно записать в виде $E = \frac{dA}{A}$. С другой стороны, $\frac{dA}{A} = d(\ln A)$ Таким образом, относительная погрешность величины A равна полному дифференциалу натурального логарифма функции, определяющей зависимость данной величины от измеряемых, т.е.

Таким образом, для нахождения $E = \frac{\Delta A}{A}$ необходимо:

1) Прологарифмировать исходную формулу ln A = ln *f(X, Y, Z, ...)*

2) Продифференцировать полученное уравнение, заменив затем дифференциалы dA , dX , dY ... погрешностями ΔA , ΔX , ΔY , ... ;

3) Сгруппировать члены, содержащие одни и те же погрешности, вынести эти погрешности за скобки, а выражения в скобках взять по модулю;

4) заменить знаки “-” перед коэффициентами при погрешностях на знак “+” (для нахождения максимального значения Δ).

Общая формула для расчета относительной погрешности будет при этом выглядеть следующим

образом:

$$E = \frac{\Delta A}{A} = \left|\frac{1}{f}\frac{df}{dX}\right|\Delta X + \left|\frac{1}{f}\frac{df}{dY}\right|\Delta Y + \left|\frac{1}{f}\frac{df}{dZ}\right|\Delta Z + \ldots .$$

В качества примера приведем оценку относительной погрешности величины γ, вычисляемой по формуле $\gamma = \frac{H}{H-h}$, где средние значения параметров, полученные после проведения серии измерений (отсчеты по шкале манометра).

$$\ln\gamma = \ln H - \ln(H-h)$$

$$\frac{d\gamma}{\gamma} = \frac{dH}{H} - \frac{d(H-h)}{H-h} = \frac{dH}{H} - \frac{dH}{H-h} + \frac{dh}{H-h}$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma} = \left|\frac{1}{H} - \frac{1}{H-h}\right|\Delta H + \left|\frac{1}{H-h}\right|\Delta h = \left|\frac{-h}{H(H-h)}\right|\Delta H + \left|\frac{1}{H-h}\right|\Delta h$$

Надо сказать, что расчет по формуле приводит, как правило, к завышению погрешности результата косвенных измерений. Причем это завышение зависит от числа параметров X, Y, Z, ... Если, например, имеется пять таких параметров, то вероятность того, что все ошибки будут иметь заданный знак равна $1/16$. При большем их числе указанная вероятность будет еще меньше. Таким образом, понятно, что максимально возможное значение относительной погрешности, даваемое этим выражением, во многих случаях значительно больше реальной погрешности результата.

Теория вероятностей дает более правильные формулы для оценки погрешностей косвенных измерений. Если при прямых измерениях параметров X, Y, Z ... доминирующей является случайная погрешность, то погрешность косвенного измерения также является случайной величиной. Это означает, что следует искать среднюю квадратичную погрешность результата. Так, если A = X + У, то вместо выражений указанных выше будем иметь :

$$A_{кв} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \quad \text{и} \quad E = \frac{\sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}}{X + Y}$$

Общая формула для расчета относительной погрешности будет в этом случае иметь следующий вид :

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{1}{f}\sqrt{\left(\frac{df}{dX}\Delta X\right)^2 + \left(\frac{df}{dY}\Delta Y\right)^2 + \left(\frac{df}{dZ}\Delta Z\right)^2 + \ldots}$$

или

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{d\ln f}{dX}\Delta X\right)^2 + \left(\frac{d\ln f}{dY}\Delta Y\right)^2 + \left(\frac{d\ln f}{dZ}\Delta Z\right)^2 + \ldots}$$

В частности, при $A = C\frac{X^{\alpha}\cdot Y^{\beta}\cdot\ldots}{Z^{\gamma}}$ имеем: $\frac{\Delta A}{A} = \frac{1}{f}\sqrt{\left(\alpha\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\beta\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 + \left(\gamma\frac{\Delta Z}{Z}\right)^2 + \ldots}$

Таблица Г.1

№	Вид функции $R=f(X,Y,Z)$	Абсолютная погрешность (ε)	Относительная погрешность , $Q = \varepsilon / R$
1	$A X + B X$	$\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}$	$\frac{\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}}{AX + BY}$
2	$A X - B X$	$\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}$	$\frac{\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}}{AX - BY}$
3	$AX+BY+CZ$	$\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2 + C^2\varepsilon_Z^2}$	$\frac{\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2 + C^2\varepsilon_Z^2}}{AX + BY + CZ}$
4	$X Y$	$\sqrt{(\overline{X})^2\varepsilon_X^2 + (Y)^2\varepsilon_Y^2}$	$\sqrt{\frac{\varepsilon_X^2}{(X)^2} + \frac{\varepsilon_Y^2}{(Y)^2}}$
5	$XY Z$	$\sqrt{(Y)^2(Z)^2\varepsilon_X^2 + (Z)^2(X)^2\varepsilon_Y^2 + (X)^2(Y)^2\varepsilon_Z^2}$	$\sqrt{\frac{\varepsilon_X^2}{X^2} + \frac{\varepsilon_Y^2}{Y^2} + \frac{\varepsilon_Z^2}{Z^2}}$
6	X / Y	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2}}{Y^2}$	$\sqrt{\frac{\varepsilon_X^2}{(X)^2} + \frac{\varepsilon_Y^2}{(Y)^2}}$
7	$X / X + Y$	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2}}{(X+Y)^2}$	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2}}{X(\overline{X}+Y)}$
8	$XY + Z$	$\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2 + \varepsilon_Z^2}$	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2 + \varepsilon_Z^2}}{X\cdot Y + Z}$

Библиография

- Зайдель А.Н. Элементарные оценки погрешностей измерений. - Л, 1968.
- Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. - М, 1970.
- Котельников Р.Б. Статистическая обработка экспериментальных данных. Вып. 7 (33), М, 1960.
- Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. - М, 1960.

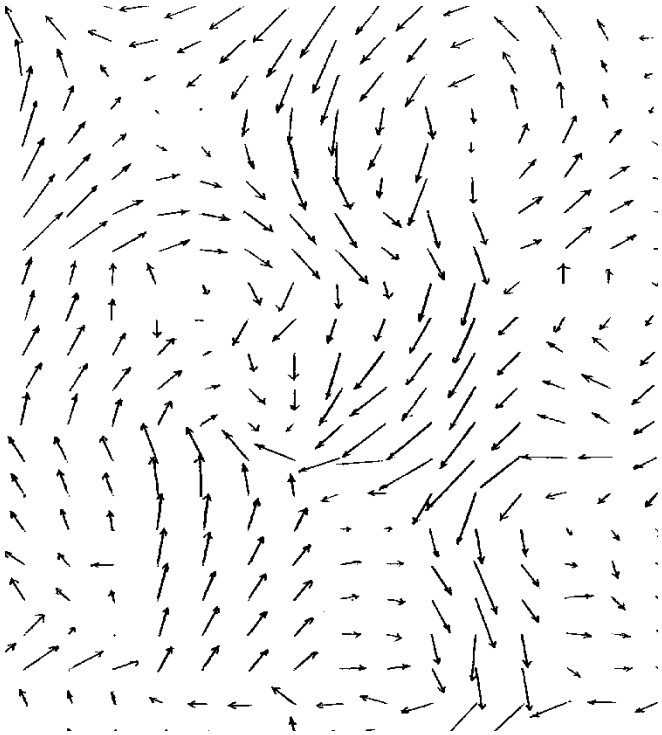
Минобрнауки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

В. Б. ВИНОГРАДОВ, К. В. ВАНДЫШЕВА

ТЕОРИЯ ПОЛЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Екатеринбург – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие……..……..4
Векторное поле…….…….....5
Дифференциальные операторы…….……10
Напряженность векторного поля…….……...17
Потенциал поля…….……26
Вихревое поле…….…….32
Поле поляризующихся сред…….…….……...32
Уравнение Лапласа…….……..41
Потенциал двумерных тел…….……..49
Намагничивание тел с высокой магнитной восприимчивостью……50
Учет взаимного влияния тел с высокой намагниченностью…….……53
Электрическое поле постоянного тока…….……56
Проводящий шар в поле точечного источника тока……60
Магнитное поле постоянного тока……62
Переменное электромагнитное поле……71
Волновые уравнения……78
Элементы теории упругости……85
Упругие волны……91
Тепловое поле……98
Литература……109

ПРЕДИСЛОВИЕ

Существующие учебники и учебные пособия по рассматриваемой дисциплине опубликованы более 15 лет назад и не соответствуют новым учебным программам. Они написаны электроразведчиками, в этих учебных изданиях преобладает описание электрических полей. Как правило, в них не рассматривается тепловое поле, количество измерений и приложений в геологии и геофизике которого очень быстро растет. Обучение студентов специальности «Геофизические методы исследования скважин» требует равного освещения теории всех полей, применяемых в геофизике.

Данное пособие в значительной степени отражает содержание курса Овчинникова И. К, у которого учился автор. С благодарностью автор вспоминает встречи с Е. Г. Булахом, автором одного из учебников по теории поля. Однако за отбор материала учебного пособия полностью отвечает автор. Формулы в учебном пособии приводятся в единицах СГСЭ и СГСМ, иногда в единицах, используемых в практической деятельности.

Быстрое развитие компьютерных технологий оказывает влияние на все стороны нашей жизни, в том числе на освоение теоретических дисциплин. Поэтому в пособии приводятся примеры решения задач с помощью математических пакетов.

Выражаю свою благодарность И. В. Гордеевой за помощь в работе. Благодарю также студентов групп ГИС-09 и РФ-09.

Замечания прошу направлять по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30, УГГУ, факультет геологии и геофизики, кафедра геофизики.

ВЕКТОРНОЕ ПОЛЕ

При внесении материального объекта в некоторое пространство он начинает оказывать влияние на окружающие его объекты, которое проявляется в действии механических (пондеромоторных) или иных сил. При рассмотрении физических явлений удобно считать, что силы, воздействующие на объект, существуют независимо от того, вносим мы его в поле или нет. Мы говорим, что объекты создают поле и являются источниками физического поля. Задача определения силового поля состоит в определении векторной величины, характеризующей силу в каждой точке.

Для качественного и количественного описания полей вводят систему координат и используют скаляры, векторы, тензоры и иные математические объекты и структуры. Наиболее часто используют декартовую (X,Y,Z), цилиндрическую (R,Ф,Z) и сферическую (R,Ф, Θ) системы координат.

Вектором в алгебре называют упорядоченную тройку чисел: $\{X,Y,Z\}$. Иное определение вектора – направленный отрезок. Для характеристики вектора необходимо указывать его длину и направление либо три проекции на оси координат. Вектор в декартовой системе координат определяют проекциями на соответствующие оси $\{a_x, a_y, a_z\}$. В дальнейшем векторы будем обозначать A, $\vec{a}$, $\vec{A}$, $\{a_x, a_y, a_z\}$.

Радиус-вектором $\vec{R}$ назовем вектор, начало находится в точке O с источником поля, координаты (x_0, y_0, z_0), а конец в точке наблюдения с координатами (x, y, z), т. е. $\vec{R}\{x-x_0, y-y_0, z-z_0\}$ (рис. 1). Для векторов определены операции сложения, вычитания, скалярного произведения, векторного произведения и другие.

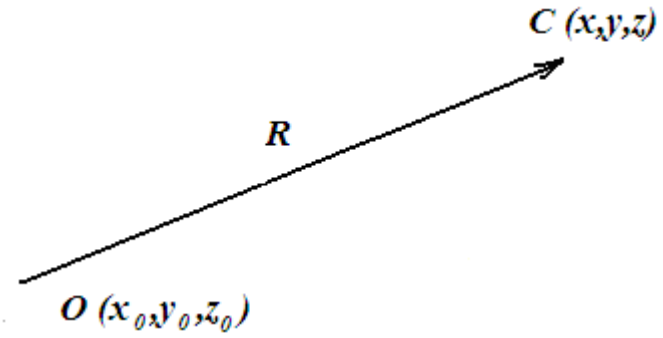


Рис. 1. К определению понятия радиуса-вектора

Операция сложения векторов:

$$\vec{a}+\vec{b}=\vec{i}(a_x+b_x)+\vec{j}(a_j+b_j)+\vec{k}(a_z+b_z),\ \left|\vec{a}+\vec{b}\right|=\sqrt{a^2+2ab\cos\varphi+b^2}\ ,$$

где φ – угол между векторами.

Вычитание векторов

$$\vec{a}-\vec{b}=\vec{i}(a_x-b_x)+\vec{j}(a_y-b_y)+\vec{k}(a_z-b_z),\ \left|\vec{a}-\vec{b}\right|=\sqrt{a^2-2ab\cos\varphi+b^2}$$

Умножение вектора на число:

$$\alpha\vec{b}=\{\alpha b_x,\alpha b_y,\alpha b_z\}.$$

Скалярное произведение двух векторов:

$$(\vec{a}\vec{b})=a_xb_x+a_yb_y+a_zb_z.$$

Векторное произведение двух векторов определяют выражением:

$$\vec{a}\times\vec{b}=\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ a_x & a_y & a_z\\ b_x & b_y & b_z\end{vmatrix}=\vec{i}(a_yb_z-a_zb_y)-\vec{j}(a_xb_z-a_zb_x)+\vec{k}(a_xb_y-a_yb_x).$$

Угол между векторами:

$$\varphi=\arccos\frac{a_xb_x+a_yb_y+a_zb_z}{\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}\sqrt{b_x^2+b_y^2+b_z^2}}.$$

Вычислим скалярное и векторное произведения векторов $\vec{g}(1,3,4)$, $\vec{d}(2,6,5)$, $\vec{f}(y^2,\ln z,\sin x)$, $\vec{h}(e^x,\frac{1}{y},z)$:

$$(\vec{g}\vec{d})=2+18+20=40,\ \vec{g}\times\vec{d}=-9\vec{i}+3\vec{j},\ (\vec{f}\vec{h})=y^2e^x+\frac{\ln z}{y}+z\sin x,$$

$$\vec{f} \times \vec{h} = \vec{i}(z \ln z - \frac{\sin x}{y}) - \vec{j}(y^2 z - e^x \sin x) + \vec{k}(y - e^x \ln z).$$

При теоретических рассуждений и вычислениях часто векторные уравнения записывают в проекциях на оси координат. Проекции векторного уравнения $\vec{E} = \int_V \frac{\rho \vec{R} dV}{R^3}$ на оси координат имеют вид:

$$E_x = \int_V \frac{\rho(x - x_0)dV}{R^3},\ E_y = \int_V \frac{(y - y_0)dV}{R^3},\ E_z = \int_V \frac{(z - z_0)dV}{R^3}.$$

В настоящее время математические операции с векторами удобно проводить с помощью математических пакетов Matlab и других.

При изучении физических полей устанавливают соотношения между двумя векторными величинами. Как правило, коэффициент пропорциональности является физическим параметром среды (плотность, скорость распространения волн, электропроводность). Такие физические параметры горных пород часто зависят от направления. Взаимосвязь в матричном виде принимает вид:

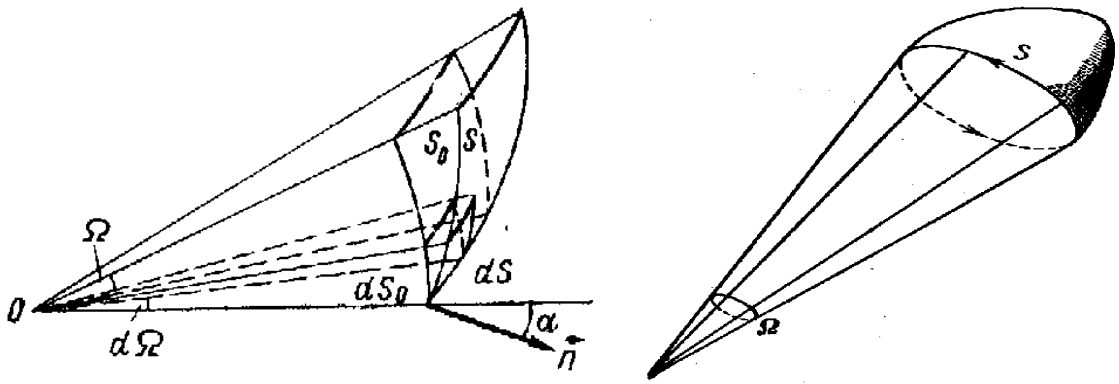
$$\vec{Q} = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{vmatrix} \vec{D},\ \vec{Q} = K\vec{D}.$$

Девять коэффициентов, записанные в виде матрицы в математике, называют тензором второго порядка. Направления векторов в левой и правой частях в вышеприведенных уравнениях не совпадают. Скалярные величины называют тензором нулевого порядка. Например, плотность является коэффициентом пропорциональности между объемом и массой. Компоненты тензора зависят от выбора системы координат. Тензорами второго порядка являются электропроводность и магнитная восприимчивость.

При решении задач теории полей часто встречается интеграл одного типа, который имеет геометрическую интерпретацию – **телесный угол**. Телесный угол Ω, под которым видна из точки наблюдения *0* поверхность *S*, определяют формулой (рис. 2):

$$\Omega = \int_S \frac{\cos\alpha}{R^2} dS,$$

где α – угол между радиусом-вектором и внешней нормалью $\vec{n}$ к поверхности S, для которой вычисляется телесный угол.



а) б)

Рис. 2. К определению понятия телесного угла: ….(а), ….(б)

Телесный угол, под которым видно все пространство, равен 4π. Телесный угол, под которым видна некоторая поверхность, определяют по аналогии с плоским углом. В некоторых случаях телесный угол определяется легко. Телесный угол, под которым видна грань куба из его центра, равен $\Omega = 4\pi/6 = 2\pi/3$. Телесный угол, под которым видна из центра грань пентагондодекаэдра или ромбододекаэдра, равен $\Omega = 4\pi/12 = \pi/3$. Из сферической тригонометрии известно, что трехгранный угол равен сумме образующих его двугранных углов минус π. Следовательно, телесный угол, под которым видно основание пирамиды в виде выпуклого многоугольника равен $\Omega = \sum_{i=1}^{n} A_i - \pi(n-2) = 2\pi - \sum_{i=1}^{n}(\pi - A_i)$, где A_i – двугранные углы пирамиды, n – число сторон многоугольника. Каждое слагаемое в последнем выражении вычисляют:

$$\pi - A_i = \arccos\frac{\vec{r}_i \times \vec{r}_{i+1}}{|\vec{r}_i||\vec{r}_{i+1}|} = \arccos\frac{r_{ix}r_{i+1x} + r_{iy}r_{i+1y} + r_{iz}r_{i+1z}}{\sqrt{(r_{ix}^2 + r_{iy}^2 + r_{iz}^2)(r_{i+1x}^2 + r_{i+1y}^2 + r_{i+1z}^2)}},$$

$$r_i = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x - x_i & y - y_i & z - z_i \\ x_i - x_{i-1} & y_i - y_{i-1} & 0 \end{vmatrix}, \quad r_{i+1} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x - x_{i+1} & y - y_{i+1} & z - z_{i+1} \\ x_{i+1} - x_i & y_{i+1} - y_i & 0 \end{vmatrix}.$$

Для любой поверхности можно выполнить триангуляцию (разбиение на треугольники) и вычислить телесный угол как сумму углов видимости всех

треугольников. Полученная формула позволяет вычислить физические поля, например гравитационное поле горизонтальной пластинки в виде многоугольника $g = k\sigma\Omega$, где k – гравитационная постоянная.

Телесный угол при вершине сферического треугольника ΔABC определяют по формуле Люилье:

$$\operatorname{tg}\frac{\Omega}{4} = \left(\operatorname{tg}\frac{l}{2}\operatorname{tg}\frac{l-a}{2}\operatorname{tg}\frac{l-b}{2}\operatorname{tg}\frac{l-c}{2}\right),$$

где a,b,c – длины сторон сферического треугольника, $2l = a+b+c$. Если радиус сферы равен 1:

$$a = \arccos\frac{\vec{B}\times\vec{C}}{|\vec{B}|\times|\vec{C}|},\ b = \arccos\frac{\vec{A}\times\vec{C}}{|\vec{A}|\times|\vec{C}|},\ c = \arccos\frac{\vec{B}\times\vec{A}}{|\vec{B}|\times|\vec{A}|}.$$

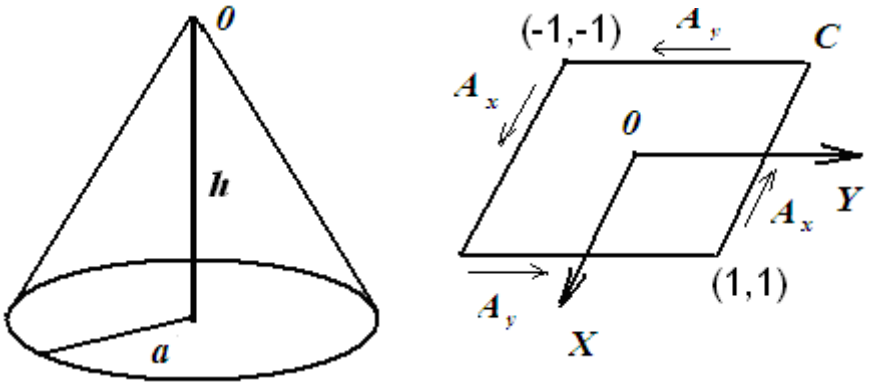
Вычислим телесный угол, под которым из вершины видно основание прямого конуса (рис. 3, *а*):

$$\Omega = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \frac{hrdr}{(r^2+h^2)^{3/2}} = 2\pi h\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right).$$

Этот интеграл можно вычислить с помощью математических пакетов, для этого достаточно вычислить внутренний интеграл:

$$\int \frac{r}{(r^2+h^2)^{3/2}}dr = -\frac{1}{\sqrt{h^2+r^2}}.$$

Осталось лишь подставить пределы и умножить на величину первого интеграла 2π и h.



а б

Рис. 3.К вычислению телесного угла при вершине прямого конуса (а), циркуляции вектора по контуру (б)

Циркуляцией вектора по контуру L называют интеграл по замкнутому контуру от проекции вектора на касательную к L:

$$\oint_L A_L dL .$$

Вычислим циркуляцию вектора $\vec{A}\left\{\frac{-2y}{x^2+1}, \frac{2x}{y^2+1}\right\}$. В качестве контура интегрирования C (рис. 3, б) выберем прямоугольник с вершинами (-1,-1),

(1,-1), (1,1), (-1,1):

$$\oint_c A_l dl = \int_{-1}^{1} \frac{2dx}{x^2+1} + \int_{-1}^{1} \frac{2dy}{y^2+1} + \int_{-1}^{1} \frac{2dx}{x^2+1} + \int_{-1}^{1} \frac{2dy}{y^2+1} = 8\operatorname{arctg} x \Big|_{-1}^{1} = 4\pi .$$

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ

Градиентом скалярного поля f называют вектор $\operatorname{grad} f$:

в декартовой системе координат $\operatorname{grad} f = \vec{i}\frac{\partial f}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial f}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial f}{\partial z}$;

в цилиндрической системе координат $\operatorname{grad} f = \frac{\partial f}{\partial r}\vec{i}_r + \frac{1}{r^2}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\vec{i}_\varphi + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{i}_z$;

в сферической системе координат $\operatorname{grad} f = \frac{\partial f}{\partial r}\vec{i}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\vec{i}_\theta + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\vec{i}_\varphi$.

Градиент характеризует изменчивость поля в малой окрестности точки, его можно назвать вектором пространственной скорости поля. Он характеризует поведение поля вблизи выбранной точки. Направление градиента есть направление наиболее быстрого возрастания поля (рис. 4), а его величина равна максимальному значению производной из всех возможных значений в данной точке. Градиент не зависит от выбранной системы координат (инвариант), производная функции по любому направлению равна проекции градиента на это направление:

$$\frac{\partial U}{\partial l} = grad_l U$$

Вычислим градиент функции, обратной радиусу-вектору $\frac{1}{R}$:

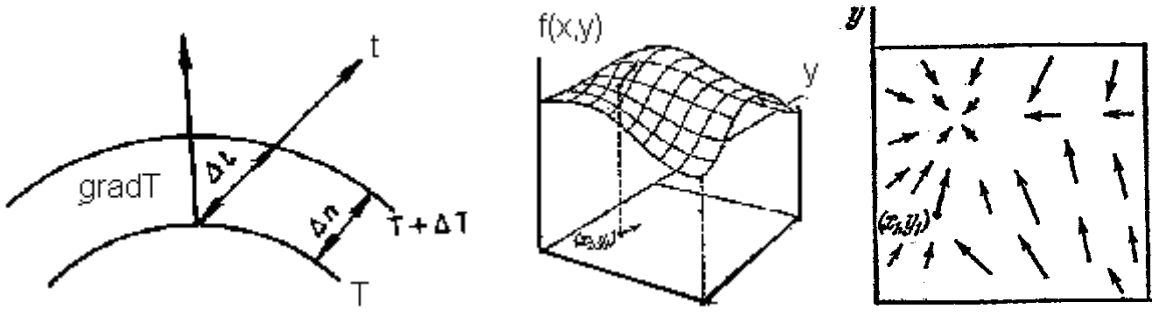
$$\text{grad}\,\frac{1}{R}=\vec{i}\,\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{R}\right)+\vec{j}\,\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{R}\right)+\vec{k}\left(\frac{1}{R}\right)=-\left(\vec{i}\,\frac{x-x_0}{R^3}+\vec{j}\,\frac{y-y_0}{R^3}+\vec{k}\,\frac{z-z_0}{R^3}\right).$$

Те же вычисления можно осуществить с помощью пакета Mathematica:

$$D\left[\frac{1}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{1/2}},x\right]=-\frac{x-x0}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{3/2}};$$

$$D\left[\frac{1}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{1/2}},y\right]=-\frac{y-y0}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{3/2}};$$

$$D\left[\frac{1}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{1/2}},z\right]=-\frac{z-z0}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{3/2}}.$$



а б в

Рис. 4. К определению понятия градиента (а). График скалярной функции (б) и план ее градиента (в)

Вычислим вертикальный градиент гравитационного поля Земли, считая ее шаром. Поле шара $g=\frac{kM}{r^2}$. Вертикальный градиент направлен радиально:

$$\frac{\partial g}{\partial r}=-\frac{2kM}{r^3}=-\frac{6.67\times10^{-11}\times5.976\times10^{24}}{(6.367\times10^6)^3}=3.089\cdot10^{-6}\ \text{с}^{-2}.$$

Предел отношения поверхностного интеграла нормальной по отношению к поверхности S составляющей вектора к объему этой поверхности, при стремлении последнего к нулю $\lim_{\Delta V\to0}\frac{\oiint_S a_n dS}{\Delta V}$ называют **расходимостью,** или **дивергенцией**. Расходимость характеризует плотность источников поля.

Расходимость вектора в декартовых координатах может быть вычислена по формуле:

$$\text{div}\,\vec{E}=\frac{\partial E_x}{\partial x}+\frac{\partial E_y}{\partial y}+\frac{\partial E_z}{\partial z}.$$

В цилиндрической системе координат дивергенция

$$\operatorname{div}\vec{D}=\frac{1}{r}\left(\frac{\partial(rD_r)}{\partial r}+\frac{\partial D_\varphi}{\partial\varphi}+r\frac{\partial D_z}{\partial z}\right).$$

В сферической системе координат расходимость определена выражением:

$$\operatorname{div}\vec{D}=\frac{1}{r^2\sin\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial(r^2D_r)}{\partial r}+r\frac{\partial}{\partial\theta}(\sin\theta D_\theta)+r\frac{\partial D_\varphi}{\partial\varphi}\right).$$

Вычислим дивергенцию градиента скалярной функции *f*:

$$\operatorname{div}\operatorname{grad} f=\operatorname{div}(\vec{i}\frac{\partial f}{\partial x}+\vec{j}\frac{\partial f}{\partial y}+\vec{k}\frac{\partial f}{\partial z})=\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}=\Delta f\ ,$$

где $\Delta=\operatorname{div}\operatorname{grad}=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа (лапласиан).

Уравнение $\Delta U=0$ называют уравнением Лапласа.

Предел отношения интеграла по замкнутому контуру от проекции вектора поля на касательную к контуру к площади, охватываемой контуром, при стремлении последней к нулю:

$$\lim_{\Delta S\to 0}\frac{\oint a_l dl}{\Delta S}=\operatorname{rot}\vec{a}$$

называют **вихрем** или **ротором** вектора.

Этот предел называют также плотностью циркуляции вектора. На рис. 5 приведены 6 планов векторов полей со значением их расходимости и вихря. В каждом случае приведен контур, который позволяет оценить расходимость и вихрь.

Ротор не зависит от выбора системы координат. Вихрь и дивергенция-инварианты поля относительно системы координат. Вихрь и ротор векторного поля однозначно определяют поле с точностью до постоянного слагаемого. Это свойство двух дифференциальных операторов позволило Максвеллу всего четырьмя уравнениями описать электромагнитное поле.

Вихрь вектора в декартовых координатах имеет вид:

$$\operatorname{rot}\vec{E}=\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ E_x & E_y & E_z\end{vmatrix}=\vec{i}\left(\frac{\partial E_z}{\partial y}-\frac{\partial E_y}{\partial z}\right)-\vec{j}\left(\frac{\partial E_z}{\partial x}-\frac{\partial E_y}{\partial z}\right)+\vec{k}\left(\frac{\partial E_y}{\partial x}-\frac{\partial E_x}{\partial y}\right),$$

в сферических координатах:

$$\mathrm{rot}\,\vec{E}=\left(\frac{1}{r\sin\Theta}\frac{\partial E_r}{\partial\varphi}-\frac{1}{r}\frac{\partial(rE_\varphi)}{\partial r}\right)\vec{e}_\Theta+\left(\frac{1}{r}\frac{\partial rE_\Theta}{\partial r}-\frac{1}{r}\frac{\partial E_r}{\partial\Theta}\right)\vec{e}_\varphi+\frac{1}{r\sin\Theta}\left(\frac{\partial(\sin\Theta E_\varphi)}{\partial\Theta}-\frac{\partial E_\Theta}{\partial\phi}\right)\vec{e}_r,$$

в цилиндрических координатах:

$$\mathrm{rot}\,\vec{E}=\left(\frac{1}{r}\frac{\partial E_z}{\partial\varphi}-\frac{\partial E_\varphi}{\partial z}\right)\vec{e}_r+\left(\frac{\partial E_r}{\partial z}-\frac{\partial E_z}{\partial r}\right)\vec{e}_\varphi+\frac{1}{r}\left(\frac{\partial(E_\varphi r)}{\partial r}-\frac{\partial E_r}{\partial\varphi}\right)\vec{e}_z.$$

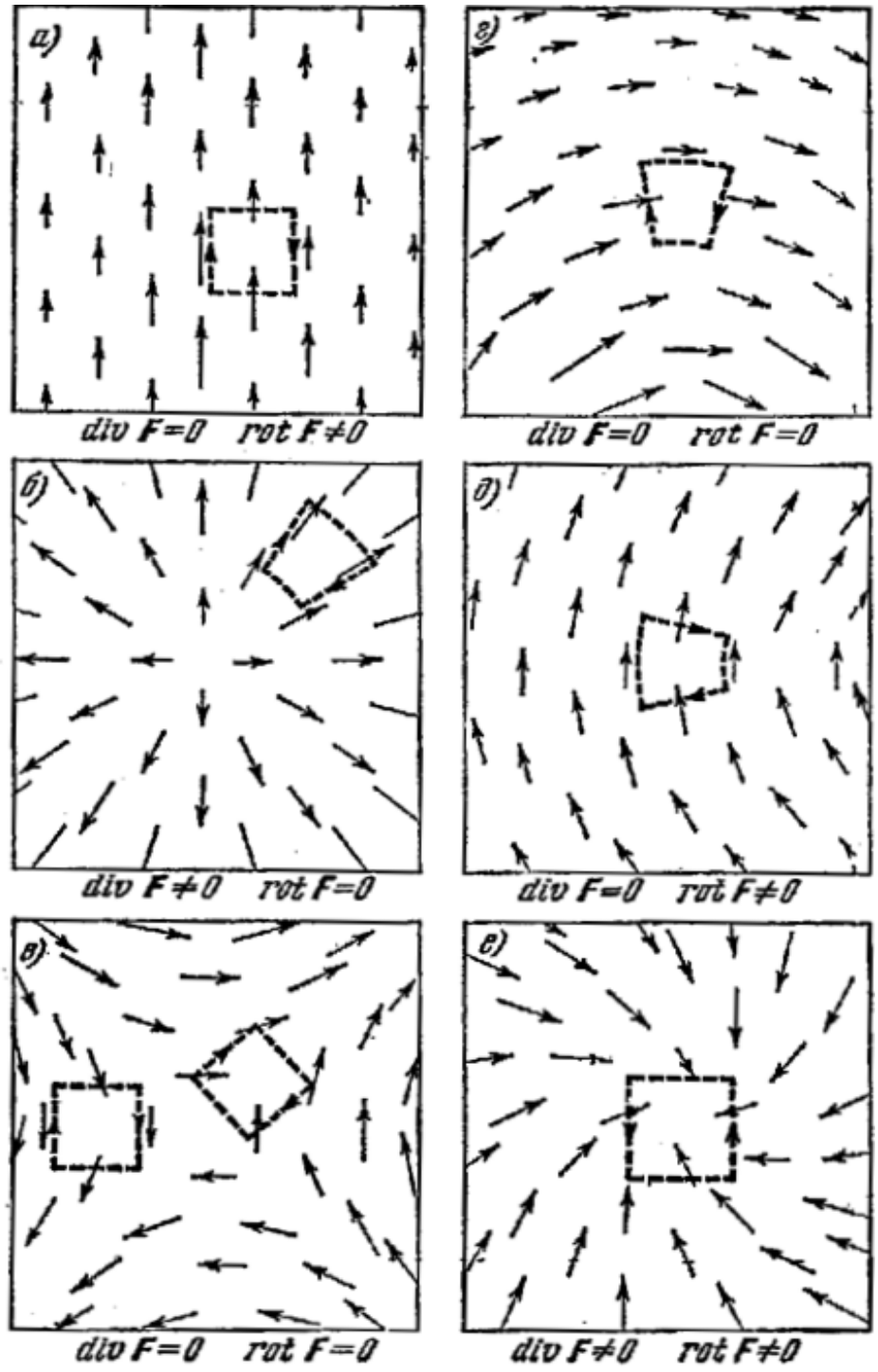


Рис. 5. Дивергенция и вихрь различных векторных полей

Вычислим величину $\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{A}$:

$$\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{A} = \operatorname{grad}\operatorname{div}\vec{A} - \Delta\vec{A}.$$

Градиент, расходимость и вихрь часто называют пространственными производными.

Оператором Гамильтона называют дифференциальный оператор (оператор набла):

$$\nabla = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}.$$

Дифференциальные операторы позволяют компактно записывать уравнения, описывающие физические поля:

$Q - \lambda C + D\Delta C - \operatorname{div}(C\vec{v}) = \dfrac{\partial C}{\partial t}$ – уравнение переноса радиоактивного газа;

$\Delta T + F = c\rho\dfrac{\partial T}{\partial t}$ – уравнение распределения температуры;

$\Delta U - \dfrac{1}{a^2}\dfrac{\partial^2 U}{\partial t^2} + b\dfrac{\partial U}{\partial t} + CU = -F$ – телеграфные уравнения;

$\Delta\vec{U}_1 - \dfrac{1}{v_p^2}\dfrac{\partial^2\vec{U}_1}{\partial t^2} = -\dfrac{1}{\rho v_p^2}\vec{F}_1$ – уравнение распространения продольных волн и другие.

Определенную в области задания уравнения действительную функцию, непрерывную вместе со своими частными производными, входящими в уравнение, и обращающую его в тождество, называют регулярным решением. Решения, перестающие быть регулярными в изолированных точках или множествах особого вида, называют фундаментальными.

При проведении преобразований для решения задачи дифференциальные операторы надо воспринимать так же, как таблицу умножения или таблицу сложения, т.е. как формальное правило соответствия одного выражения другому.

ЗАДАЧИ

1. Найдите градиент функций $1/R^3$ и $1/R$.

2. Докажите тождество $\operatorname{div}\vec{A}\times\vec{B} = (\vec{B}, \operatorname{rot}\vec{A}) - (\vec{A}, \operatorname{rot}\vec{B})$.

3. Вычислите телесный угол, под которым из вершины пирамиды высотой $2a$ видно ее основание, если основание пирамиды – квадрат со стороной a. Решение проведите двумя способами.

4. Вычислите телесный угол при вершине прямого конуса высотой $3a$ и диаметром основания a.

5. Вычислите расходимость градиента функции $U = x^3 y^2 z$.

6. Вычислите дивергенцию векторов $\vec{R}$ и $\vec{A} = xy\vec{i} + yz\vec{j} + xz\vec{k}$.

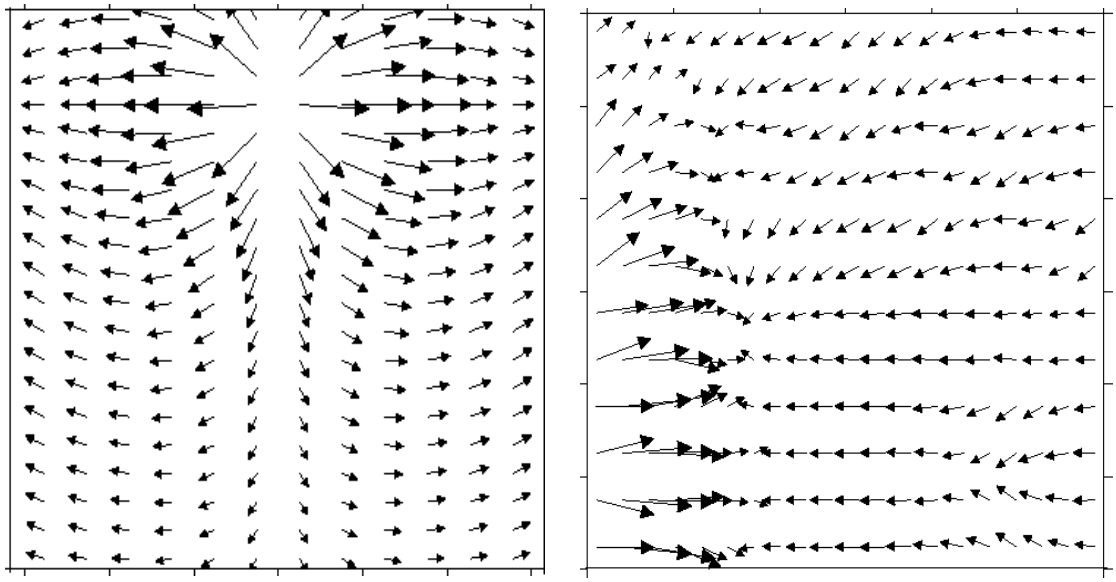
7. Найдите циркуляцию вектора $\vec{A} = y\vec{i}$ по окружности $x = a\cos t$, $y = a + a\sin t$, лежащего в плоскости XOY, z=0.

8. Найдите $\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{A}$.

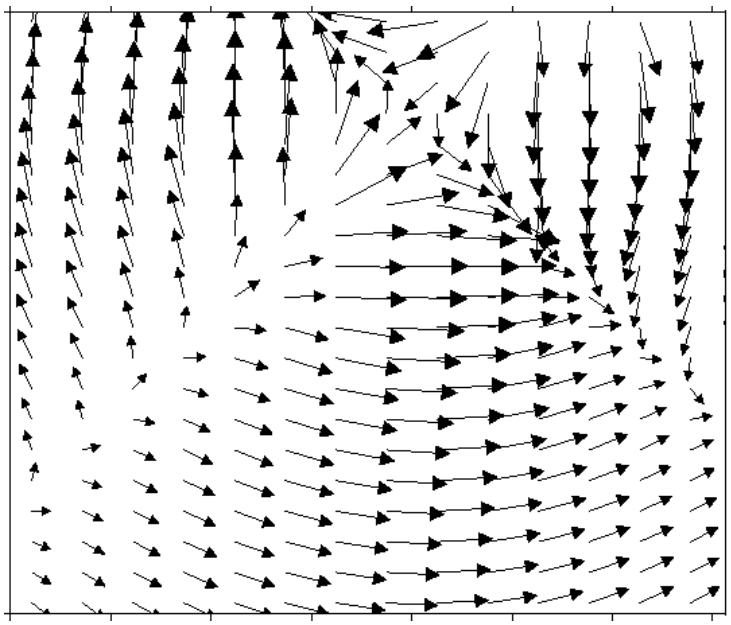
9. Найдите вихрь вектора $\vec{R}$.

10. Докажите, что $\operatorname{rot}\vec{A} + \operatorname{rot}\vec{B} = \operatorname{rot}(\vec{A} + \vec{B})$.

11. Вычислите вихрь векторного произведения радиус-вектора $\vec{R}$ и постоянного вектора $\vec{A}$.



а б



в

Рис. 6. Векторные поля: ….

12. Оцените вихрь и расходимость векторных полей представленных на рис. 6.

НАПРЯЖЕННОСТЬ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ

В теоретических рассуждениях рассматривают идеализированные источники поля (рис. 7):

1. **Точечный источник –** заряд в точке, объем которой равен нолю. Такое приближение удобно при рассмотрении поля на расстояниях во много раз превосходящих собственные размеры источника (см. рис. 7, а, б).

2. **Линейный источник –** заряд, распределенный вдоль некоторой линии. Площадь поперечного сечения источника равна нолю. Источник принято характеризовать линейной плотностью заряда χ, которая равна заряду, линии длиной 1.

3. **Поверхностный источник** – заряд, распределенный по некоторой поверхности. Толщина поверхности равна нолю. Источник характеризуют поверхностной плотностью зарядов, т.е. зарядом участка поверхности площадь которого равна 1.

4. **Объемный источник** – заряд, распределенный в некоторой части пространства, ограниченной некоторой замкнутой поверхностью. Источнику приписывают объемную плотность заряда.

В геофизике измеряются различные характеристики физических полей: в магниторазведке модуль вектора индукции геомагнитного поля T, в гравиразведке – напряженность гравитационного поля g, в электроразведке (при измерении естественного поля) – потенциал U. Поэтому необходимо знать свойства и особенности каждой из измеряемых характеристик поля для различных источников.

Напряженностью гравитационного и электрического полей называют силу, с которой поле действует на единичную массу или единичный положительный заряд. Законы изменения напряженности гравитационного и электростатического полей точечных источников установлены опытным путем Кавендишем и Кулоном. Их математическая запись одинакова с точностью до обозначений:

$$E = \frac{\varepsilon Q}{R^2},\ g = \frac{kM}{R^2} \text{ или в векторной форме } \vec{E} = \frac{\varepsilon Q\vec{R}}{R^3},\ \vec{g} = \frac{kM\vec{R}}{R^3}.$$

Направление вектора напряженности точечного источника радиальное. Принято считать, что если $E>0$, то вектор направлен от источника, если $E<0$, то векторы направлены к источнику поля. Однако между источниками гравитационного и электрического полей существенное различие: не существует тел с отрицательной массой. Вектор напряженности гравитационного поля всегда направлен к источнику. На основе этих результатов можно получить законы изменения напряженности поля линейного, поверхностного и объемного источника. Для этого достаточно разбить изучаемый объект на элементарные источники и проинтегрировать выражение для точечного источника.

Теоретические рассуждения проводят в векторной форме, вычисления осуществляют в скалярной форме, т.е. используют запись уравнений в проекциях на оси координат. В декартовой системе проекции вектора напряженности на оси координат

$$E_x = \frac{Q(x - x_0)}{R^3},\ E_y = \frac{Q(y - y_0)}{R^3},\ E_z = \frac{Q(z - z_0)}{R^3}.$$

Экспериментальным путем установлен **принцип суперпозиции**: вектор напряженности совокупности точечных источников равен векторной сумме векторов напряженности отдельных источников (рис. 7, в, г):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N} \frac{Q_i \vec{R}_i}{R_i^3}.$$

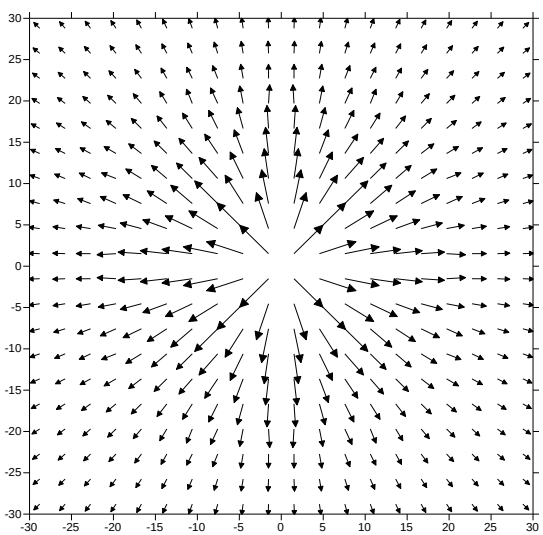
Свойства напряженности векторного поля точечного источника:

1. Напряженность поля точечного источника непрерывна вне источника.

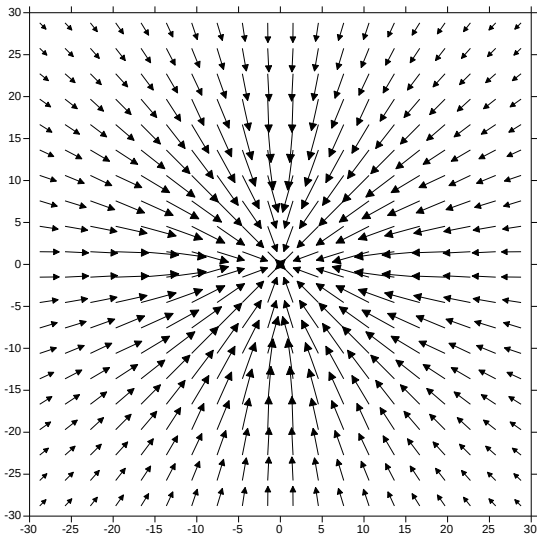
2. При стремлении точки вычисления к бесконечности напряженность поля стремиться к нулю:

$$\lim_{R \to \infty} E = 0.$$

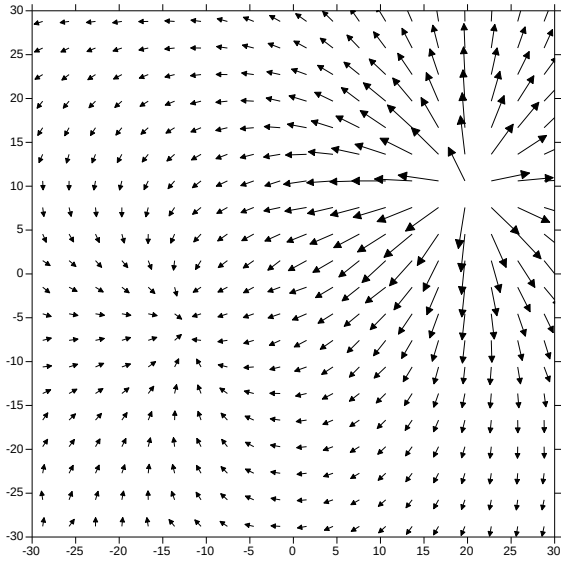
3. При неограниченном приближении к источнику напряженность поля неограниченно возрастает.

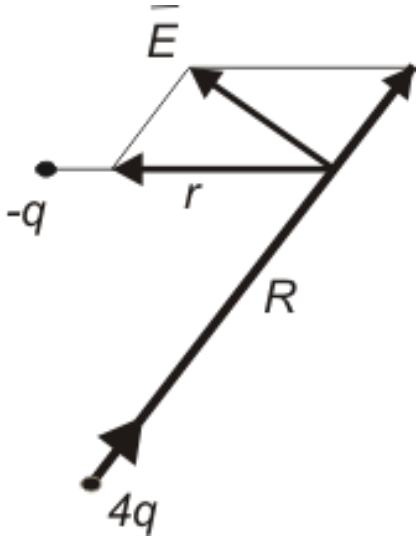


а



б





в г

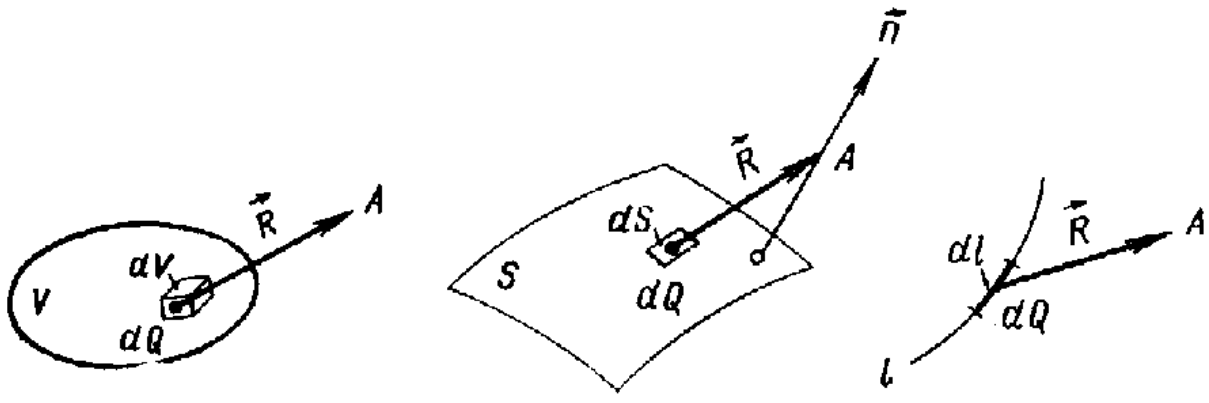
Рис. 7. Векторы напряженности поля точечных источников: положительного точечного заряда (а); отрицательного заряда (б); двух разноименных зарядов (в, г)

Напряженность поля линейных, поверхностных и объемных источников. Для определения полей этих объектов их разбивают на элементарные источники и на основе принципа суперпозиции интегрированием получают формулы вычисления векторов напряженности полей (рис. 8).

Напряженность поля линейного источника описывается выражениями:

$$\vec{E} = \int_l \chi \frac{\vec{R}}{R^3} dl\,,\ E_x = \int_l \chi \frac{x - x_0}{R^3} dl\,,\ E_y = \int_l \chi \frac{y - y_0}{R^3} dl\,,\ E_z = \int_l \chi \frac{z - z_0}{R^3} dl\,,$$

где χ – линейная плотность зарядов (диполей, масс). Эта величина численно равна заряду линии единичной длины (массе линии длиной 1).



а б в

Рис. 8. К определению объемного (а), поверхностного (б) и линейного (в) источников

Свойства напряженности поля линейного источника рассмотрим на примере кольца (рис. 9). Поле вычислим на оси кольца. Из симметрии задачи следует, что вектор напряженности в точках оси диска направлен вдоль этой оси, т.е. $E=E_z$:

$$E_z = \chi \int_0^{2\pi} \frac{r d\varphi}{(r^2 + z^2)^{3/2}} = 4\pi\chi \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}}.$$

Напряженность поля линейного источника стремится к нолю при удалении от источника. Она всюду конечна и непрерывна вне источника, а при приближении к источнику стремиться к бесконечности.

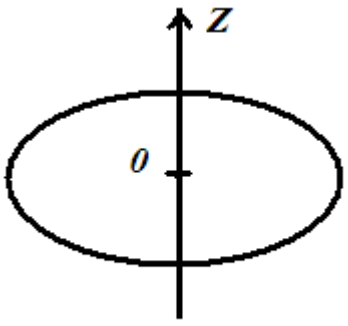


Рис. 9. Линейный источник кольцевой формы

Напряженность поверхностного источника с плотностью поверхностных зарядов (масс, диполей) σ имеет вид:

$$\vec{E} = \int_S \sigma \frac{\vec{R}}{R^3} ds.$$

Свойства напряженности поля поверхностного источника поля рассмотрим на примере диска радиуса a с плотностью поверхностных зарядов σ. Поле вычислим на оси диска (рис. 10). Начало полярной системы координат поместим в центре диска. Исходя из симметрии задачи вектор напряженности в точках, принадлежащих оси диска, направлен вдоль оси z, т.е. $E=E_z$:

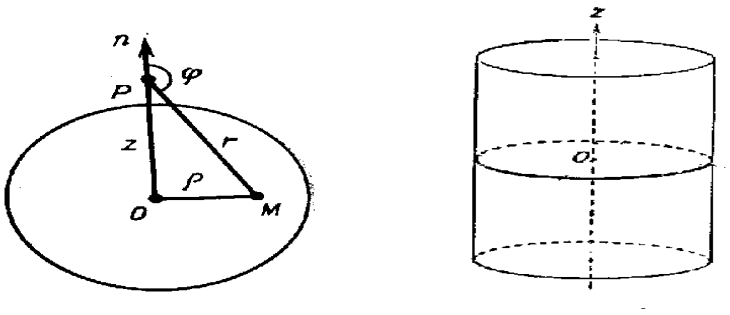
$$E = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \frac{(z - z_0) r dr}{\left[(z - z_0)^2 + r^2\right]^{3/2}} = -2\pi \sqrt{z^2 + r^2} \Big|_0^a .$$

Напряженность поверхностного поля вне источника всюду конечна, а при пересечении поверхности источника ее нормальная составляющая терпит разрыв $4\pi\sigma$. В остальной части пространства напряженность поля непрерывна, а при удалении от источника стремится к нолю (см. рис. 10, а).

Свойства напряженности поля объемных источников поля рассмотрим на примере вертикального кругового цилиндра (см. рис. 10, б) высотой $2h$ и радиусом основания a. Вычислим напряженность поля на оси цилиндра. Решение проведем в цилиндрической системе координат, которая отвечает симметрии задачи. Начало координат поместим в центр цилиндра, ось Z направим вдоль оси цилиндра. Из симметрии задачи следует, что вектор напряженности на оси цилиндра направлен вдоль этой оси:

$$E = E_z = \rho \int_{-h}^{h} dz_0 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \frac{r dr}{\left[\left(r^2 + (z - z_0)\right)^2\right]^{3/2}} = 2\pi\rho \int_{-h}^{h} \frac{r dr}{\sqrt{r^2 + (z - z_0)^2}} = 2\pi\rho \sqrt{r^2 + (z - z_0)^2} ,$$

Далее необходимо рассмотреть два случая: для точки расчета, находящейся внутри цилиндра ($z<h$), и для точки расчета, расположенной вне цилиндра ($z>h$).



а б

Рис. 10. К вычислению напряженности поля диска (а), вертикального кругового цилиндра (б)

В первом случае:

$$E = 2\pi\rho\left(\sqrt{a^2 + (z - h)^2} + z + h - \sqrt{a^2 + (z + h)^2} - (z - h)\right) =$$

$$2\pi\left(2h + \sqrt{a^2 + (z - h)^2} - \sqrt{a^2 + (z + h)^2}\right).$$

Во втором случае:

$$E = 2\pi\rho\left[\sqrt{a^2 + (z - z_0)^2} - |z - z_0|\right] + 2\pi\rho\left[\sqrt{a^2 + (z - z_0)^2} - |z - z_0|\right] =$$

$$= 2\pi\rho\left(a - \sqrt{a^2 + (z - h)^2} + z + h - \sqrt{a^2 + (z + h)^2} - h + z - a\right) =$$

$$= 2\pi\rho\left(2z + \sqrt{a^2 + (z - h)^2} - \sqrt{a^2 + (z + h)^2}\right).$$

Полученный результат показывает, что напряженность поля объемного источника всюду конечна, непрерывна и при удалении от источника стремится к нулю.

Обращение в бесконечность и нарушение непрерывности носят формальный характер и получаются только вследствие сделанных допущений, что существуют необъемные источники с бесконечно большой плотностью.

На практике очень часто строят модели среды, состоящие из параллелепипедов. В декартовой системе координат вычислим поле прямоугольного параллелепипеда. Вертикальная составляющая вектора напряженности поля:

$$E = \rho \int_{-a}^{a} dx_0 \int_{-b}^{b} dy_0 \int_{-c}^{c} \frac{(z - z_0)dz_0}{((x - x)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2)^{3/2}} =$$

$$= -\rho \int_{-a}^{a} dx_0 \int_{-b}^{b} \frac{dy_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}} =$$

$$= \rho \int_{-a}^{a} \ln\left(y - y_0 + \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}\right) dx_0 =$$

$$= -\rho\left((x - x_0)\ln\left(y - y_0 + \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}\right) + \right.$$

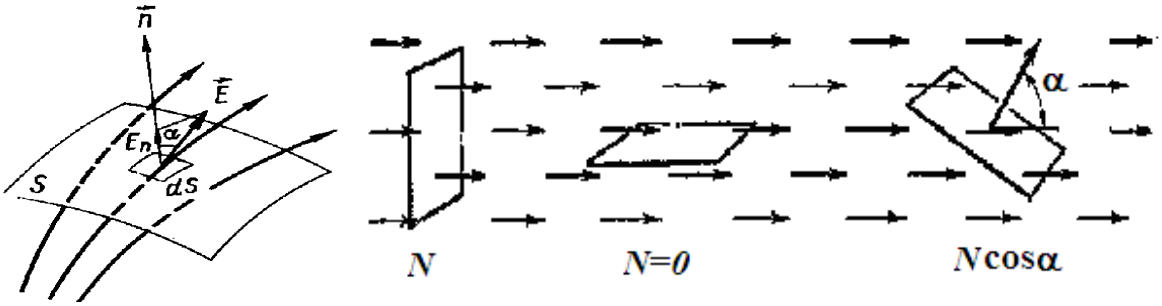
$$+ (y - y_0)\ln\left(x - x_0 + \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}\right) -$$

$$\left. - (z - z_0)\text{arctg}\frac{(x - x_0)(y - y_0)}{(z - z_0)\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}}\right) \Big|\Big|\Big|.$$

Потоком вектора напряженности через поверхность S (рис. 11 и 12) назовем величину

$$N = \int_S E_n dS,$$

где E_n – нормальная составляющая вектора напряженности поля к поверхности. Название «поток» заимствовано из гидродинамики, где эта величина имеет ясный физический смысл (рис. 11, б).



а б

Рис. 11. К определению понятия потока

Поток вектора напряженности точечного источника через поверхность S можно записать в виде:

$$N = \int_S \frac{Q\cos\alpha dS}{R^2} = Q\Omega,$$

где Ω – телесный угол, под которым видна поверхность из точки, где располагается источник.

Таким образом, поток напряженности точечного источника через охватывающую его поверхность равен произведению заряда (массы) на телесный угол, под которым видна поверхность из точки, где располагается источник. Когда поле возбуждается не одним источником, поток вектора через произвольную замкнутую поверхность равен произведению 4π на величину заряда, расположенного внутри поверхности.

Если $N>0$, то внутри замкнутой поверхности S имеются источники поля.

Если $N<0$, то внутри замкнутой поверхности есть поглотители потока (например, поглотители тепла).

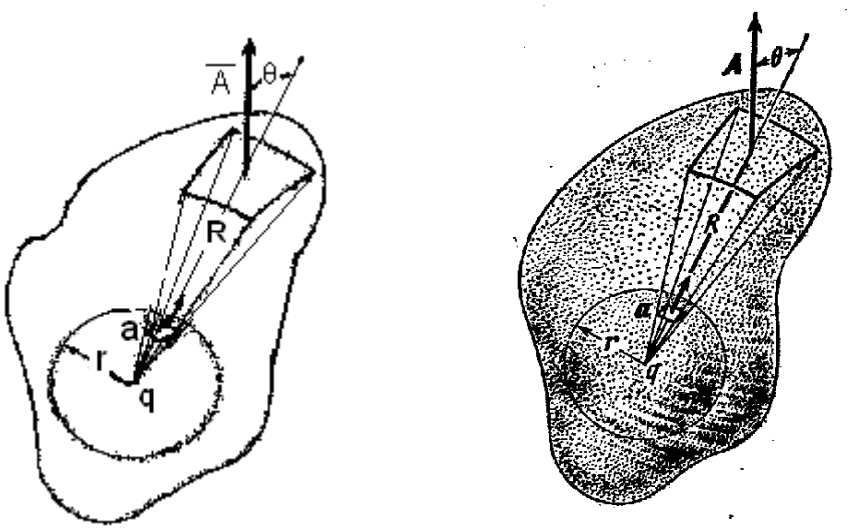
Если $N=0$, то внутри замкнутой поверхности нет источников, либо мощность имеющихся источников равна мощности поглощения потока вектора.

Теорема Гаусса – Остроградского: поток вектора напряженности поля через замкнутую поверхность, охватывающую источник, равен $4\pi Q$, а через

поверхность, не охватывающую источник равен нолю. Теорема справедлива для любых источников поля. Теорема Гаусса – Остроградского может быть записана в дифференциальной форме:

$$\text{Div } E = \begin{cases} 4\pi\rho \text{ (в точках с источниками)} \\ 0 \text{ (в точках без источников).} \end{cases}$$

Поток вектора через замкнутую поверхность, охватывающую источник, равен потоку того же вектора через сферу, охватывающую тот же источник (см. рис. 12).



а б

Рис. 12. Поток вектора через замкнутую поверхность равен потоку того же вектора через сферу: ….

При теоретических рассуждениях используются **формула Гаусса – Остроградского**:

$$\int_S E_n dS = \int_V \text{div}\, \vec{E} dV ,$$

формула Грина:

$$\int_C E_n dl = \int_S \text{div}\, \vec{E} dS .$$

Данные формулы позволяют преобразовать поверхностный интеграл в объемный и наоборот, а поверхностный интеграл преобразовать в контурный интеграл.

Вычислим поток напряженности точечного источника, находящегося на оси цилиндра через боковую поверхность цилиндра. Начало координат расположим в центре цилиндра, высоту цилиндра обозначим $2h$, радиус основания – r, точечный источник находится на расстоянии a от центра цилиндра. Поток через боковую поверхность целиндра равен произведению заряда на разность полного телесного угла 4π и суммы углов, под которыми из источника видны оба основания конуса. Выше телесный угол, под которым видно основание конуса из его вершины был вычислен (глава «Векторное поле»). Поэтому можем записать:

$$N = Q\left(4\pi - \pi + \frac{\pi(a-h)}{\sqrt{r^2+(a+h)^2}} - \pi + \frac{\pi(a+h)}{\sqrt{r^2+(a+h)^2}}\right) = Q\pi\left(\frac{a-h}{\sqrt{r^2+(a-h)^2}} + \frac{a+h}{\sqrt{r^2+(a+h)^2}}\right).$$

ЗАДАЧИ

1. Вычислите поток векторов $\vec{A} = x\vec{i} + 2y\vec{k}$ и $\vec{B} = x^2\vec{j} - y\vec{k}$ через сферу с центром в начале координат и радиусом r=1.

2. Вычислите поток вектора напряженности через боковую поверхность цилиндра, если поле обусловлено точечным зарядом Q=5, находящимся на середине оси цилиндра.

3. Вычислите поток вектора $\vec{A} = (x^2+y^2)\vec{i} + (y^2+z^2)\vec{j} + (z^2+x^2)\vec{k}$ через поверхность куба, ограниченного плоскостями x=0, x=1, y=0, y=1, z=0, z=1.

4. Определите напряженность поля, создаваемого половиной шара радиусом a с плотностью ρ в точках, расположенных на ребре и в центре сферической поверхности.

5. Определите напряженность поля пластинки с поверхностной плотностью 5 в виде ромба на перпендикуляре, проходящем через его центр.

ПОТЕНЦИАЛ ПОЛЯ

Пусть в каждой точке пространства существует векторное поле E. Потенциалом поля назовем скалярную однозначную функцию $U(x,y,z)$, частная производная которой по любому направлению, взятая с обратным знаком, равна составляющей вектора напряженности поля по этому направлению:

$$E_l = \frac{\partial U}{\partial l}.$$

Если такая функция существует, поле называется потенциальным. Вектор

$$\vec{i}\,\frac{\partial U}{\partial x} + \vec{j}\,\frac{\partial U}{\partial y} + \vec{k}\,\frac{\partial U}{\partial z} = -\operatorname{grad} U$$

назовем градиентом потенциала. В символической форме:

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} U,\ E_x = -\frac{\partial U}{\partial x},\ E_y = -\frac{\partial U}{\partial y},\ E_z = -\frac{\partial U}{\partial z}.$$

Для потенциальности поля необходимо и достаточно, чтобы циркуляция вектора поля по любому контуру равнялась нулю:

$$\oint A_l dl = 0.$$

В силовых полях численное значение интеграла $\int_a^b A_l dl$ равно работе по перемещению единичного источника из точки *A* в точку *B*.

Дифференциальный критерий потенциальности поля

$$\operatorname{rot} \vec{E} = 0.$$

Чтобы поле было потенциальным необходимо и достаточно, чтобы во всех точках плотность вихревых источников поля равнялась нолю, то есть поле должно быть безвихревым.

Формула Стокса. Циркуляция вектора по контуру равна потоку вихря вектора через произвольную поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\oint A_l dl = \int_S \operatorname{rot}_n \vec{A} dS.$$

Формула применяется для преобразования контурного интеграла к поверхностному интегралу и наоборот.

Потенциал точечного источника, как легко проверить:

$$U = \frac{Q}{R}.$$

Потенциал точечного источника в точках, свободных от источников, конечен и непрерывен, а при удалении от него стремится к нолю обратно пропорционально квадрату расстояния.

Потенциал линейного источника

$$U = \int_l \frac{\chi}{R} dl .$$

Рассмотрим свойства линейного источника на примере стержня (рис. 13). Поскольку задача обладает осевой симметрией, совместим начало координат с центром стержня, ось *z* направим вдоль стержня. Его потенциал примет вид:

$$U(r, z_0) = \int_{-l}^{l} \frac{\chi dz_0}{\sqrt{r^2 + (z - z_0)^2}} = \chi \ln \frac{\sqrt{r^2 + (z+l)^2} + z + l}{\sqrt{r^2 + (z-l)^2} + z - l} .$$

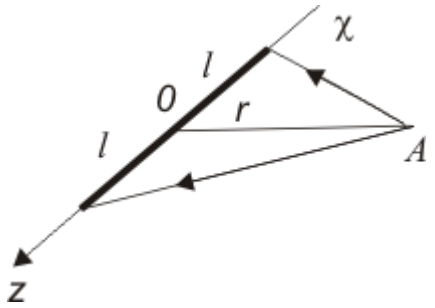


Рис. 13. К вычислению потенциала стержня r

Потенциал стержня на оси *z* вне стержня имеет вид:

$$U = \chi \ln \frac{z+l}{z-l} .$$

Из этого выражения следует, что при приближении к стержню потенциал стремится к бесконечности. В остальных точках пространства потенциал конечен, непрерывен, а при удалении от источника стремится к нолю.

Потенциал поверхностного источника рассмотрим на примере диска. Потенциал на оси диска определится выражением:

$$U = \int_0^a \frac{\sigma r dr d\varphi}{\sqrt{r^2 + z^2}} = 2\pi\sigma(\sqrt{a^2 + z^2} - \lfloor z \rfloor) .$$

Потенциал в центре диска равен $2\pi\sigma a$. При пересечении поверхности диска потенциал остается непрерывным и конечным. Однако производная потенциала по нормали к диску терпит разрыв при пересечении диска. При удалении от диска потенциал стремится к нолю (рис. 14). Эти утверждения справедливы для всех поверхностных источников.

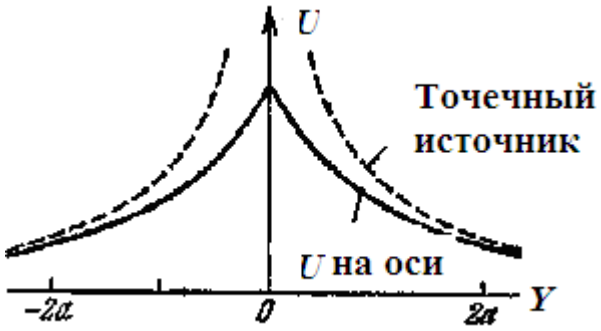


Рис. 14. Графики изменения потенциала диска и точечного источника

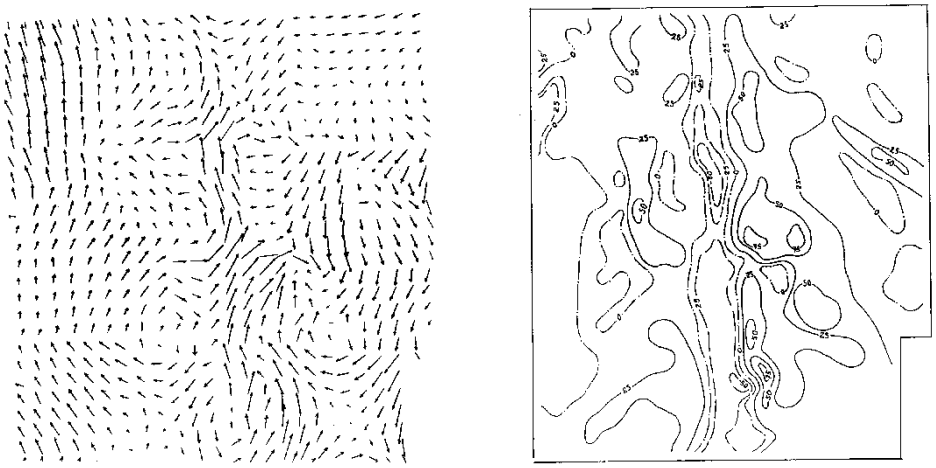
Векторные поля принято изображать графически в виде проекций вектора напряженности на горизонтальную плоскость (рис. 15, а) или в виде планов изолиний величин проекций (рис. 15, б).

Потенциал объемного источника рассмотрим на примере шара (рис. 16). Во внешней по отношению к шару точке потенциал шара радиусом r с объемной плотностью ρ на расстоянии от центра шара L:

$$U = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} \sin\theta d\theta \int_0^{a} \frac{\rho r^2 dr}{\sqrt{L^2 + r^2 - 2rL\cos\theta}} = \frac{\pi\rho}{L} \int_0^{a} r dr \int_0^{\pi} \frac{d(-2Lr\cos\Theta)d\theta}{\sqrt{L^2 + r^2 - 2rL\cos\theta}} =$$

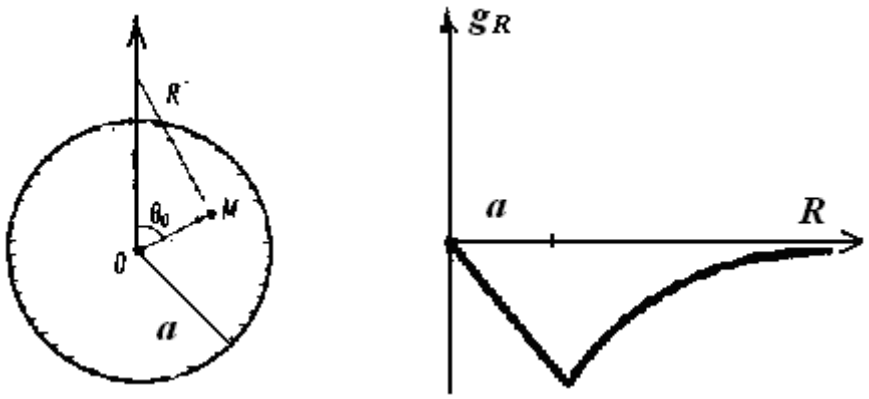
$$= \frac{2\pi\rho}{L} \int_0^{a} \left(\sqrt{L^2 + r^2 + 2rL} - \sqrt{L^2 + r^2 - 2rL} \right) r dr = \frac{2\pi\rho}{L} \int_0^{a} \left(|L + r| - |L - r| \right) r dr = \frac{4\pi\rho}{L} \frac{r^3}{3} \Bigg| =$$

$$= \frac{4\pi\rho a^3}{L} = \frac{Q}{L}.$$



а б

Рис. 15. Способы графического изображения векторного поля:
в виде векторов (а); изолиниями проекции вектора на вертикаль (б)



а б

Рис. 16. К вычислению потенциала и напряженности поля шара (а). График зависимости напряженности гравитационного поля шара от расстояния до его центра (б)

Полученное решение совпадает с потенциалом точечного источника с тем же зарядом Q. При вычислении потенциала внутри шара последний интеграл необходимо разбить на два:

$$U = \frac{2\pi\rho}{z}\int_0^a \Big(|z+r| - |z-r|\Big) r dr = \frac{2\pi\rho}{z}\left(\int_0^a (z+r) r dr - \int_0^z (z-r) r dr - \int_z^a (r-z) r dr\right) = 2\pi\rho\left(a^2 - \frac{z^2}{3}\right).$$

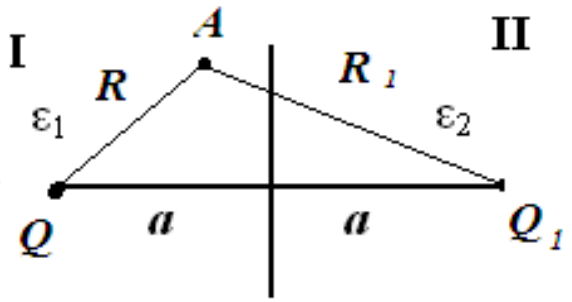
На поверхности шара и вне шара оба выражения принимают одинаковые значения. Потенциал шара всюду конечен, непрерывен, при удалении от источника стремится к нолю. Такими же свойствами обладает потенциал любого объемного источника.

Найдем потенциал поля, создаваемого точечным зарядом Q, расположенным в среде с диэлектрической проницаемостью ε_1 на расстоянии a от плоской границы раздела со средой с диэлектрической проницаемостью ε_2 (рис. 17). Задачу решим методом зеркальных изображений. Симметрично относительно границы раздела введем во второй среде фиктивный источник Q_1. Потенциал в точке A

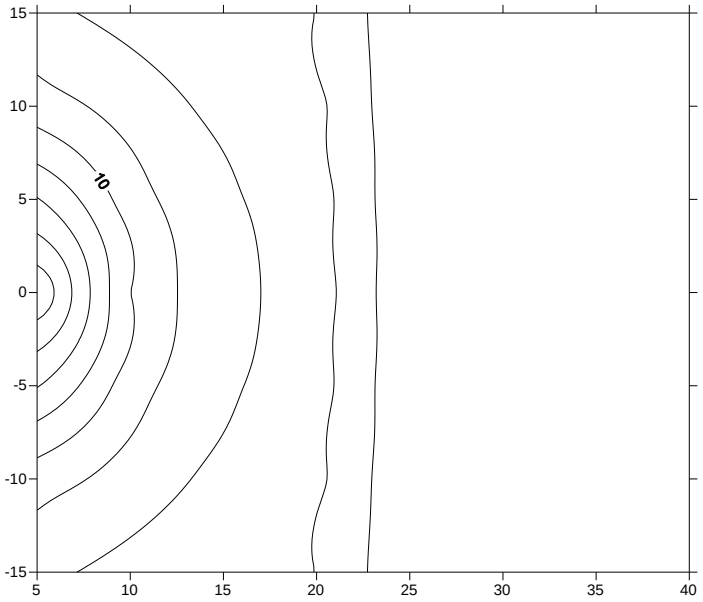
$$U_1 = \frac{Q}{\varepsilon_1 R} + \frac{Q_1}{\varepsilon_2 R_1}.$$

Потенциал во второй среде будем искать как поле фиктивного заряда Q_2 находящегося на месте заряда Q_1:

$$U_2 = \frac{Q_2}{R}.$$



а



б

Рис. 17. Точечный заряд вблизи плоской границы раздела двух сред (а). План изолиний потенциала в среде с плоской границей раздела (б)

На плоской границе раздела ($R = a$) выполняются условия непрерывности потенциала $U_1 = U_2$ и скачок нормальной составляющей напряженности поля ($\varepsilon_1 \frac{\partial U_1}{\partial n} = \varepsilon_2 \frac{\partial U_2}{\partial n}$):

$$\frac{Q + Q_1}{\varepsilon_1} = \frac{Q_2}{\varepsilon_2},\ Q - Q_1 = Q_2.$$

Находим два неизвестных из двух уравнений:

$$Q_1 = Q\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2},\ Q_2 = Q\frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}.$$

Потенциал поля определится после подстановки найденных величин фиктивных зарядов в вышеприведенные уравнения:

$$U_2 = \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}\frac{Q}{R}.$$

Величину $k = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$ называют коэффициентом отражения поля от плоской границы, а величину $1 - k = \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$ называют коэффициентом прохождения.

ВИХРЕВОЕ ПОЛЕ

Векторное поле $\vec{E}$ называют соленоидальным (вихревым), если поток поля через замкнутую поверхность, ограничивающую любую область, равен нолю:

$$\int_S E_n dS = 0.$$

Силовые линии соленоидального поля замкнуты. В области S не должно быть источников потенциальных полей. Соленоидальное поле порождается вихревыми источниками с плотностью $\vec{q} = \operatorname{rot}\vec{E}$. Дифференциальные уравнения соленоидального поля:

$$\operatorname{div}\vec{E} = 0,\ \operatorname{rot}\vec{E} = \vec{q},\ \operatorname{div}\vec{q} = 0.$$

Произвольное векторное поле может иметь потенциальную и вихревую части:

$$\vec{E} = -\operatorname{grad}\left(\int_V \frac{\rho dV}{R}\right) + \operatorname{rot}\left(\int_V \frac{\vec{q}dV}{R}\right).$$

Дифференциальные характеристики произвольного вектора определяют его структуру:

$$\vec{E} = \operatorname{grad}\left(\int_V \frac{div\vec{E}}{R}dV\right) + \operatorname{rot}\left(\int_V \frac{\operatorname{rot}\vec{E}}{R}dV\right).$$

УРАВНЕНИЕ ЛАПЛАСА

Оператором Лапласа называют дифференциальный оператор, который в декартовых координатах представляет собой сумму вторых частных производных по *x*, *y*, *z*:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Дифференциальное уравнение в частных производных вида

$$\Delta U = \operatorname{div}(\operatorname{grad} U) = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0$$

называют уравнением Лапласа. Уравнение Лапласа описывает стационарное тепловое поле, потенциальное течение жидкости, электрическое поле постоянного тока, электростатическое поле, магнитостатическое поле, процесс диффузии.

В сферических координатах уравнение Лапласа:

$$\Delta U = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial U}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 \sin\theta}\frac{\partial}{\partial}\left(\sin\theta \frac{\partial U}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2 \sin^2\theta}\frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} = 0.$$

Непрерывную функцию вместе со своими производными в некоторой области, удовлетворяющую уравнению Лапласа, называют гармонической в этой области. Основные свойства гармонических функций:

- если функция *U* гармоническая в области *T*, ограниченной некоторой поверхностью, то справедливо равенство:

$$\sum_S \frac{\partial U}{\partial n} dS = 0,$$

где *S* – любая замкнутая поверхность, целиком лежащая в области *T*;

- если функция *U* гармоническая в области *T*, а *M* – точка, лежащая внутри *T*, то справедливо:

$$U(M) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_D U dS,$$

где *D* – сфера с центром в точке *M*, целиком лежащая в области *T*;

- если функция *U*, определенная и непрерывная в замкнутой области *T*, удовлетворяет уравнению Лапласа внутри *T*, то максимальное и минимальное значения эта функция принимает на поверхности, ограничивающей область *T*;

- если известны значения гармонической функции *U* в области *T*, во всех точках ограничивающей эту область поверхности *S*, то функция *U* может быть определена в любой точке *T*;

- если гармоническая функция *U*, определенная в области *T* , принимает на поверхности, ограничивающей область, постоянное значение, то всюду в этой области она принимает это постоянное значение.

Одним из способов решения уравнения Лапласа является способ разделения переменных (метод Фурье). Искомую функцию представляют в виде произведения функций, каждая из которых зависит только от одной переменной:

$$U(x,y,z)=X(x)Y(y)Z(z),\ U(r,\theta,\varphi)=R(r)\Theta(\theta)\Phi(\varphi),\ U(r,\varphi,z)=R(r)\Phi(\varphi)Z(z).$$

В цилиндрических координатах уравнение Лапласа имеет вид:

$$\frac{1}{R}\frac{\partial^2 R}{\partial r^2}+\frac{1}{R}\frac{\partial R}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2}+\frac{\partial^2 Z}{\partial z^2}=0.$$

После подстановки функции, предложенной Фурье:

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial z^2}=\gamma^2 Z,\ \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2}+n\Phi=0,\ \frac{\partial^2 R}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial R}{\partial r}+\left(\gamma^2-\frac{n^2}{r^2}\right)R=0.$$

Решение первых двух уравнений:

$$Z=e^{-\gamma z},\ \Phi=e^{n\varphi i}.$$

Третье уравнение с помощью подстановки приводится к уравнению Бесселя:

$$\frac{d^2 y}{dx^2}+\frac{1}{x}\frac{dy}{dx}+\left(1-\frac{h^2}{x^2}\right)y=0.$$

Его решением является цилиндрическая функция Бесселя первого рода:

$$R=J_n(\gamma r),\ J_n(\gamma r)=\left(\frac{\gamma r}{2}\right)^n\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-(\gamma r)^2/4)^k}{k!(\Gamma(k+n+1)},$$

где Г – гамма-функция, Г(1)=Г(2)=1, Г(*n*+1)=*n*!.

Бессель Ф. В. при обработке астрономических наблюдений исследовал цилиндрические функции для вычисления коэффициентов разложения в тригонометрический ряд радиус-векторов планет. Функция Бесселя с ростом аргумента колеблется относительно оси абсцисс с экспоненциально убывающей амплитудой. Представление функции, обратной расстоянию с помощью функций Бесселя имеет вид:

$$\frac{1}{\sqrt{r^2+z^2}} = \int_0^\infty \exp(-tz) J_0(tz) dt,\ z \geq 0,$$

$$\frac{1}{\sqrt{r^2+z^2}} = \int_0^\infty \exp(tz) J_0(tz) dt,\ z \leq 0.$$

Частное решение и общее решение третьего уравнения:

$$Z = e^{-\gamma z + \varphi n i} J(nr), \quad U(r,\varphi,z) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{n\varphi i} \int_0^\infty C_n(\gamma) e^{-\gamma z} J(\gamma r) \gamma d\gamma,$$

где $C_n(\gamma) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-n\varphi i} d\varphi \int_0^\infty U(r,\varphi) J_n(\gamma r) r dr$.

При некоторых специально подобранных законах изменения γ уравнение Лапласа имеет аналитическое решение. Например, И. К. Овчинников предложил для описания зависимости электропроводности от глубины использовать законы:

$$\gamma = \gamma_0 \left(\frac{ch\alpha(k+z)}{ch\alpha z} \right)^{\pm 2},\ \gamma = \gamma_0 \left(\frac{sh\alpha(k+z)}{sh\alpha z} \right)^{\pm 2},\ \gamma = \gamma_0 e^{\pm 2\alpha z},$$

которые позволяют получить аналитические решения уравнения Лапласа.

Поле вертикально поляризованной сферы. Пусть в однородной изотропной бесконечной среде находится равномерно поляризованная сфера, т. е. такая, что скачок потенциала на границе сферы с вмещающей средой линейно меняется в зависимости от глубины. Обозначим U_1 потенциал поля во вмещающей среде с проводимостью γ_1, U_2 – потенциал поля внутри шара с проводимостью γ_2, a – радиус шара, θ – угол между направлением поляризации и направлением из центра сферы на точку наблюдения. Равномерность поляризации обеспечивается распределением скачка потенциала на границе сферы и вмещающей среды по закону:

$$\Delta U = \Delta U_0 \cos\theta,$$

где ΔU_0 – наибольший скачок потенциала $U_1 - U_2$ на границе сферы.

Уравнение Лапласа в данном случае имеет вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 U}{\partial \theta} + \frac{\operatorname{ctg}\theta}{r^2}\frac{\partial U}{\partial \theta} = 0.$$

Решение должно удовлетворять условиям:

$$U_1 - U_2 = \Delta U_0 \cos\theta,\ \gamma_1 \frac{\partial U_1}{\partial r} = \gamma_2 \frac{\partial U_2}{\partial r},\ \text{при } r=a;$$

$$U_1 \to 0 \text{ при } r \to \infty,\ U_2 = 0 \text{ при } r = 0.$$

Решение будем искать методом разделения переменных, полагая $U = f(r)\cos\theta$.

Подставим избранную функцию в уравнение Лапласа, получим:

$$\cos\theta\left(\frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial f}{\partial r} - 2\frac{f}{r}\right) = 0,$$

откуда

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial f}{\partial r} - 2\frac{f}{r}\right) = 0.$$

Представим функцию f в виде произведения $f = r^2\varphi$. Наше уравнение преобразуется:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} - \frac{2}{r}\frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0.$$

Его решение, как легко убедиться подстановкой, $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} = 2C^2 r$, $\frac{\partial \varphi}{\partial r} = C^2 r^2$,

где C – произвольная постоянная. Далее получим $\varphi = Ar^3 + B$, $f = ar + \frac{B}{r^2}$,

где A и B – произвольные постоянные. Решение исходного уравнения:

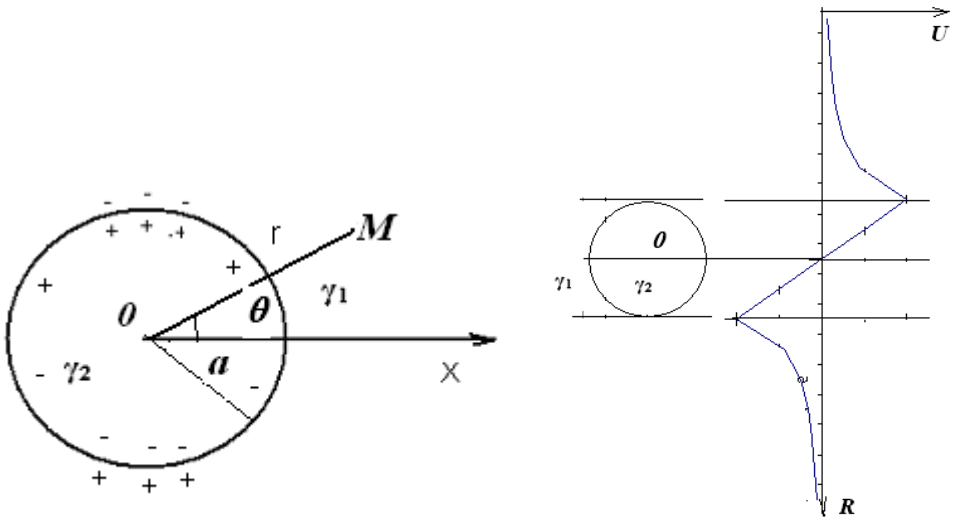
$$U = (Ar + \frac{B}{r^2})\cos\theta,$$

После рассмотрения граничных условий:

$$U_1 = \frac{B}{r^2}\cos\theta,\ U_2 = Ar\cos\theta,$$

$$U_1 = \frac{\gamma_2}{2\gamma_1+\gamma_2}\Delta U_0 \frac{a^2}{r^2\cos\theta},\ U_2 = -\frac{2\gamma_1}{2\gamma_1+\gamma_2}\Delta U_0 \frac{r}{a}\cos\theta.$$

На рис. 24, б представлен график изменения потенциала, вдоль вертикальной линии, проходящей через центр шара.



а б

Рис. 24. Однородно вертикально поляризованная сфера (а) и график ее потенциала (б)

Намагничивание однородного шара однородным полем. Пусть в среде с постоянной магнитной проницаемостью μ_1 находится шар с радиусом равным a и постоянной магнитной проницаемостью μ_2. Намагничивающее поле будем считать однородным, его напряженность обозначим H_0 (рис. 24). Потенциал первичного поля представим в виде $U_0 = -H_0 z = -H_0 R\cos\theta$.

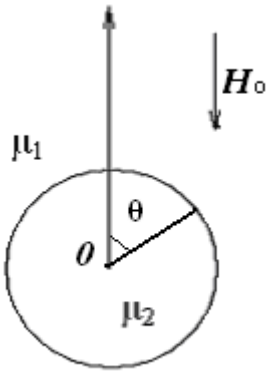


Рис. 25. К определению магнитного поля шара

Введем сферическую систему координат с началом в центре шара, полярную ось направим по намагничивающему полю. Решение будем искать в виде суммы первичного поля и аномального поля, обусловленного присутствием шара: $U(R,\theta)=U_0(R,\theta)+U_a(R,\theta)$. Второе слагаемое (аномальная компонента поля) вне шара и внутри шара имеет разное аналитическое представление. Аномальное поле вне шара обозначим $U_1(R,\theta)$, а потенциал внутри шара – $U_2(R,\theta)$. На поверхности шара (R=a) должны выполняться граничные условия:

$$U_1 = U_2 \cdot\ \mu_1 \frac{\partial U_1}{\partial R} = \mu_2 \frac{\partial U_2}{\partial R}.$$

Потенциалы U_1 и U_2 будем искать в виде:

$$U_1 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_n P_n(\cos\theta)}{R^{n+1}}\ ,\ U_2 = \sum_{n=0}^{\infty} A_n R^n P_n(\cos\theta).$$

Коэффициенты A_n и B_n найдем, используя граничные условия (для краткости аргумент полиномов Лежандра приводить не будем):

$$-H_0 a\cos\theta + \sum_{n=0}^{\infty} A_n R^n P_n = -H_0 a\cos\theta + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_n P}{R^{n+1}},$$

$$\mu_1\left(-H_0\cos\theta - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(n+1)B_n P_n}{a^{n+2}}\right) = \mu_2\left(-H_0\cos\theta + \sum_{n=0}^{\infty} nA_n a^{n-1} P_n\right).$$

Эти равенства выполняются только в том случае, если коэффициенты при полиномах Лежандра с одинаковыми номерами в левой и правой частях будут равны. Удовлетворить этим условиям можно только в том случае, если:

1) A_n=B_n=0 при $n \neq 1$;

2) $A_1 a^3 = B_1$,

откуда получим:

$$\mu_1\left(H_0 + \frac{2B_1}{a^3}\right) = \mu_2(H_0 - A_1),\ A_1 = \frac{\mu_2-\mu_1}{\mu_2+2\mu_1}H_0,\ \ B_1 = \frac{\mu_2-\mu_1}{\mu_2+2\mu_1}a^3 H_0.$$

Таким образом, потенциал намагниченного шара определен внутри шара формулой

$$U_2 = -H_0 \cos\theta + \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} H_0 \cos\theta .$$

Векторы напряженности и индукции магнитного поля внутри шара постоянны и направлены параллельно намагничивающему полю. Это отражает общее положение о том, что тела, ограниченные поверхностями второго порядка, намагничиваются (поляризуются) однородно, все остальные тела намагничиваются неоднородно, то есть их намагниченность зависит от координат.

Вне шара потенциал:

$$U_1 = -H_0 \cos\theta + \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} \frac{a^3 H_0 \cos\theta}{R^2}$$

и совпадает с полем магнитного диполя, расположенного в центре шара, магнитный момент M которого равен магнитному моменту шара:

$$\vec{M} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} a^3 H_0 ,$$

а намагниченность

$$\vec{J} = \frac{3}{4\pi} \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} H_0 .$$

Компоненты напряженности поля:

$$X = 3M \frac{(x - x_0)(z - z_0)}{R^5}, \; Y = 3M \frac{(y - y_0)(z - z_0)}{R^5},$$

$$Z = M \frac{2(z - z_0)^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}{R^5} .$$

Полученное для шара решение позволяет рассмотреть задачу о сферическом магнитном экране. Потенциал представляют в виде суммы трех потенциалов: во внешней области, во внутренней области и в самой сферической оболочке. Решение во всех областях должно удовлетворять уравнению Лапласа и граничным условиям. Магнитное поле внутри сферического экрана

$$H = \frac{9\mu_1\mu_2 H_0}{2(\mu_2^2 + 1)(r_2^3 - r_1^3)/r_2^3 + \mu_2(4r_1^3 + 5r_2^3)/r_2^3} .$$

Убывание интенсивности магнитного поля во внутренней области сферической оболочки оценивают коэффициентом экранирования, который равен отношению интенсивности поля внутри экрана к интенсивности поля во внешнем пространстве:

$$k = \frac{1}{1 + \frac{2(\mu_2 - 1)^2}{9\mu_2} \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^3}}.$$

Экранирующий эффект тем больше, чем выше магнитная проницаемость экрана и его толщина. Это выражение используется при расчете экранов устройств, нуждающихся в защите от магнитных помех, например в скважинных приборах.

ПОТЕНЦИАЛ ДВУМЕРНЫХ ТЕЛ

В геологической практике часто встречаются объекты, размеры которых по одному направлению намного больше, чем в двух других (например, дайки). Поле таких объектов в направлении простирания почти не меняется. Такие объекты считают бесконечными по простиранию, а их сечение представляют идеализированными правильными геометрическими фигурами и их называют двумерными телами.

Потенциал однородной бесконечной нити с линейной плотностью χ:

$$U = 2\chi \ln \frac{1}{r},$$

его называют логарифмическим потенциалом.

В двумерном случае под линейным диполем понимают линию, состоящую из одинаковых элементарных диполей, либо две бесконечные линии с плотностью зарядов разного знака, расположенных на бесконечно малом расстоянии (рис. 26). Потенциал линейного диполя, дипольный момент которого M:

$$U = M \frac{\cos\theta}{r}.$$

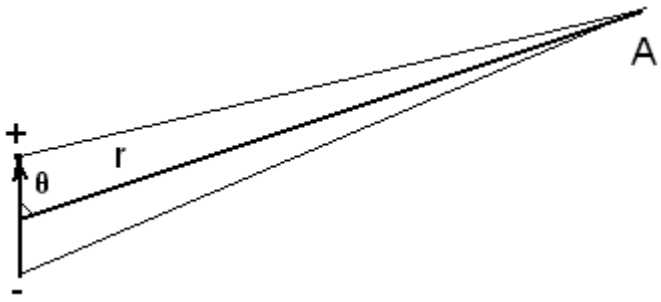


Рис. 25. К выводу формулы потенциала линейного диполя

Векторы магнитной индукции *B* и электрической поляризации P. Магнитная индукция является основной силовой характеристикой магнитного поля. Напряженность магнитостатического поля *H* вводится уравнением

$$\vec{B} = 1 + 4\pi\chi\vec{H} = \mu\vec{H}\,.$$

Основное уравнение, описывающее магнитное поле:

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0\,.$$

Линии вектора магнитной индукции всегда замкнуты, магнитное поле соленоидальное. В случае пространственной изменчивости магнитной проницаемости это уравнение имеет вид:

$$\operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} U) = 0\,.$$

Уравнения непрерывности потенциала и нормальной составляющей вектора магнитной индукции на поверхности раздела:

$$\mu_1 \frac{\partial U_1}{\partial n} = \mu_2 \frac{\partial U_2}{\partial n},\ \ U_1 = U_2\,.$$

Величина напряженности магнитного поля внутри магнетика *H* вводится соотношением:

$$\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{J}\,.$$

Таким образом, *H* – это не поле и не характеристика поля, это разность величин разной природы – поля и величины, характеризующей упорядоченность магнитных моментов. Вектор напряженности магнитного поля – удобная конструкция для теоретических рассуждений. Аналогично вводится вектор электрической индукции:

$$\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\vec{P}\,,$$

где P – вектор электрической поляризации, реальная физическая величина.

НАМАГНИЧИВАНИЕ ТЕЛ С ВЫСОКОЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТЬЮ

Распределение намагниченности в телах с высокими магнитными свойствами существенно зависит от формы тела. Расчет магнитных полей в таких случаях нельзя проводить исходя из принципа суперпозиции. Вычисления полей проводят, решая численными методами интегральные уравнения.

Уравнения вида

$$y(x) - \lambda \int_a^b K(x, x_0) y(x_0) dx_0 = \varphi(x).$$

где $y(x)$ – искомая функция, λ – параметр, называют линейными интегральными уравнениями Фредгольма второго рода. Интегральное уравнение

$$y_0(x) - \lambda \int_a^b K(x, x_0) y_0(x) dx_0 = 0$$

называют соответствующим однородным интегральным уравнением.

Общее решение интегрального уравнения Фредгольма второго рода есть сумма:

К интегральным уравнениям Фредгольма сводятся некоторые задачи теории упругости, например:

$$F(x) = y_0(x) + \varphi(x).$$

Если для $M > 0$ справедливо неравенство $|\lambda| < 1/M$ и $\int_a^b |K(x, x_0 dx_0| \le M$ при $a \le x \le b$, интегральное уравнение имеет решение $F(x)$. Решение может быть найдено методом последовательных приближений. Искомое решение является пределом последовательности

$$y_0(x) = \varphi(x),\ \varphi_n(x) = \varphi(x) + \lambda \int_a^b K(x, x_0) y_{n-1}(x_0) dx_0 .$$

Эффект неоднородного намагничивания железорудных тел при современных средствах измерения магнитных полей необходимо учитывать, если их магнитная восприимчивость превышает 0,01 СИ.

Магнитный потенциал намагниченного тела

$$U = \int_V \vec{J}\,\mathrm{grad}\frac{1}{r}dV_0 .$$

Намагниченность неоднородно намагниченного тела ранее определена выражением

$$\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{J} .$$

Напряженность магнитного поля вне тела выразится интегральным уравнением:

$$\vec{H} = \vec{H}_0 - \frac{1}{4\pi}\mathrm{grad}\int_V \left((\mu - 1)\vec{H} + \vec{J}_n\right)\frac{\vec{r}}{r^3}dV_0 .$$

Внешнее поле входит в данное уравнение дважды: как определяемая величина и в подынтегральное выражение величина, определяющая индуцированную намагниченность. Выражение в круглых скобках в подынтегральном выражении представляет собой сумму остаточной и индуцированной намагниченности. Ее называют вектором суммарной намагниченности. Проекцию этого вектора на внешнюю нормаль к поверхности намагниченного тела по аналогии с электрическими зарядами называют плотностью магнитных зарядов простого слоя.

Определим из последнего уравнения аномальное поле $\vec{H}_a = \vec{H} - \vec{H}_0$. Если известна плотность магнитных зарядов на поверхности, можно вычислить магнитное поле геологических объектов сложной формы, ограниченных поверхностью *S*. Вертикальную составляющую вектора аномалии магнитной индукции можно вычислить:

$$Z(A) = 100\int_S J_n(M)\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{R}\right)dS ,$$

где $J_n(M)$ – плотность простого слоя в точке *M* поверхности *S*, *n* – нормаль к поверхности. Плотность зарядов определяется выражением

$$J_n(M) = \frac{\Delta\chi}{2\pi(2+\chi_1+\chi_2)} \int_S J_n(N) \frac{\partial}{\partial n_M}\left(\frac{1}{r}\right) dS - \frac{\Delta\chi}{2\pi(2+\chi_1+\chi_2)} T_{0n}(M),$$

где χ_1 и χ_2 – магнитная восприимчивость среды и объекта, $\Delta\chi$ – избыточная магнитная восприимчивость, T_0 – намагничивающее поле.

Часто интегральные уравнения решают численными методами. При этом изучаемый объем разбивается на конечное число элементарных ячеек, чаще всего прямоугольников или прямоугольных параллелепипедов, а интегральное уравнение аппроксимируют системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Для решения СЛАУ существует много методов, адаптированных к типу системы.

УЧЕТ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕЛ С ВЫСОКОЙ НАМАГНИЧЕННОСТЬЮ

Если несколько тел с высокой намагниченностью близко расположены относительно друг друга, то их суммарное поле не равно сумме полей изолированных тел $Z_{01} + Z_{02}$. Принцип суперпозиции не выполняется. Алгоритм учета взаимного влияния разработан Ю. И. Блохом. Рассмотрим его на примере горизонтальных круговых цилиндров, которые, как ранее упоминалось, намагничиваются однородно.

Источником поля будем считать линейный магнитный диполь с магнитным моментом *M*, удаленный на расстояние *L* от цилиндра в горизонтальном направлении. Поместим начало координат на оси цилиндра. Потенциал кругового цилиндра радиусом *a* и магнитной проницаемостью μ в поле магнитного диполя вне цилиндра (рис. 27):

$$U_1 = \frac{M\cos\varphi}{r} = \frac{MR\cos\theta}{R^2 + L^2 + 2RL\sin\theta}$$

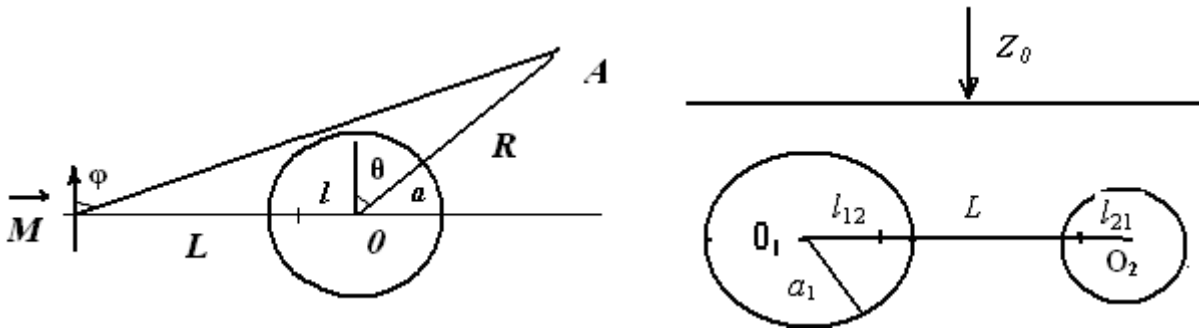
Потенциал поля внутри цилиндра будем искать в виде поля линейного диполя с моментом M_0, расположенного в точке (0,-*l*), где $l = a^2 / L$:

$$U_2 = M_0 \frac{R\cos\theta}{R^2 + l^2 + 2Rl\sin\theta}$$

После удовлетворения граничных условий внешний потенциал

$$U_1 = -\frac{M(\mu-1)a^2 r\cos\theta}{(\mu+1)(r^2L^2 + a^4 + 2a^2Lr\sin\theta)}.$$

Это аномальное поле совпадает с полем магнитного линейного диполя, смещенным в сторону внешнего источника (диполя) от оси цилиндра на расстояние $l = a^2 / L$ и магнитным моментом $M_0 = -\frac{M(\mu-1)}{\mu+1}$ (рис. 27, а).



а б

Рис. 27. Горизонтальный цилиндр в магнитном поле диполя (а). Два горизонтальных цилиндра в однородном магнитном поле (б)

Пусть два горизонтальных цилиндра расположены в магнитном поле Z_0 на расстоянии L по горизонтали. Начало координат совместим с осью первого цилиндра (рис. 27, б). Если цилиндры изолированы от влияния других тел, их поле совпадет с полем линейных диполей с магнитными моментами:

$$M_1 = \frac{\mu_1 - 1}{\mu_1 + 1} a_1^2 Z_0,\ M_2 = \frac{\mu_2 - 1}{\mu_2 + 1} a_2^2 Z_0.$$

Влияние первого цилиндра на второй можно учесть добавлением линейного магнитного диполя, смещенного от оси второго цилиндра на расстояние $l_{21} = a_2^2 / L$ с магнитным моментом

$$M_{21} = -\frac{(\mu_2 - 1)(\mu_1 - 1)a_1^2 a_2^2 H_0}{(\mu_2 + 1)(\mu_1 + 1)L^2}.$$

Влияние второго цилиндра на первый можно учесть добавлением линейного магнитного диполя с таким же магнитным моментом $M_{12} = M_{21}$, смещенного от оси первого цилиндра в направлении второго цилиндра на расстояние $l_{12} = a_1^2 / L$. Вертикальная и горизонтальная компоненты напряженности магнитного поля взаимного влияния:

$$Z_1 = M_{12} \frac{z^2 - (x - l_{12})^2}{(z^2 + (x - l_{12})^2)^2}, \quad H_1 = -2M_{12} \frac{z(x - l_{12})}{(z^2 + (x - l_{12})^2)^2},$$

$$Z_2 = M_{21} \frac{z^2 - (x - L - l_{21})^2}{(z^2 + (x - L - l_{21})^2)^2}, \quad H_2 = -2M_{21} \frac{z(x - l_{21})}{(z^2 + (x - L - l_{21})^2)^2}.$$

Суммарное магнитное поле после первой итерации

$$Z_\Sigma = Z_0 + Z_{01} + Z_{02} + Z_1 + Z_2$$

Намагничивающее поле для обоих цилиндров изменится. Изменится и намагниченность обоих цилиндров. Процесс учета взаимного влияния можно аналогичным образом продолжить далее. Итерационный процесс быстро сходится. Расчеты показывают, что в зависимости от расположения тел относительно друг друга суммарное поле может как увеличиваться, так и уменьшаться относительно суммы полей изолированных тел. Изменение поля в результате взаимного влияния двух цилиндров может достигать 20 %.

ЗАДАЧИ

1. Вычислите напряженность аномального магнитного поля кругового горизонтального цилиндра с радиусом a и магнитной восприимчивостью μ_2, находящегося в однородной изотропной среде с магнитной восприимчивостью μ_2, возбуждаемого полем H_0.

2. Докажите, что векторное поле $\vec{A} = 2xz\vec{i} + y^2\vec{j} + x^2\vec{k}$ потенциально, и найдите его потенциал.

3. Докажите, что функция $U = \exp(-i\alpha x - i\beta y - \gamma z)$ является решением уравнения Лапласа, если $\gamma^2 = \alpha^2 + \beta^2$.

4. Вычислите эффект экранирования для сферической оболочки с r=8 см и r=8,5 см, изготовленной из материала с $\gamma = 5{,}14 \cdot 10^{17}$ ед. СГСЭ.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Закон Ома в дифференциальной форме. Пусть в некотором пространстве с электропроводностью γ протекает ток (рис. 28). Рассмотрим цилиндр малых размеров такой, в котором ось цилиндра совпадает с направлением плотности тока. Тогда для цилиндра имеющего сопротивление R при плотности тока *i*, справедливы соотношения:

$$dI = -\frac{dU}{R},\ dI = idS,\ R = \frac{dl}{\gamma dS},\ idS = -\frac{dU}{dl},\ i = -\gamma\frac{\partial U}{\partial l},\ \vec{i} = \gamma\vec{E}.$$

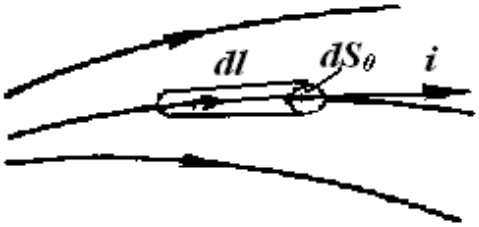


Рис. 28. К выводу закона Ома

Закон Ома в дифференциальной форме устанавливает соотношения между физическими характеристиками в бесконечно малом объеме, теоретически – в точке. В проекциях на оси координат закон записывается:

$$i_x = \gamma E_x,\ i_y = \gamma E_y,\ i_z = \gamma E_z.$$

Законы Кирхгофа в дифференциальной форме. Ток в некотором объеме равен изменению заряда в единицу времени:

$$\int_S i_n dS = -\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho dV,\ \int_V \mathrm{div}\,\vec{i} = -\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t}dV,\ \mathrm{div}\,\vec{i} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}.$$

Первое выражение называют первым законом Кирхгофа в дифференциальной форме. Второй закон Кирхгофа в интегральной форме имеет вид:

$$\oint_l E_l dl = 0,\ \oint_l E_l dl = \int_S \mathrm{rot}\,\vec{E}dS,\ \int_S \mathrm{rot}\,\vec{E}dS = 0,\ \mathrm{rot}\,\vec{E} = 0.$$

Электрическое поле постоянного тока – потенциальное безвихревое поле.

Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме. Для элементарного объема в форме цилиндра мощность N определена по экспериментальным данным:

$$dN = R(dI)^2,\ R = \frac{1}{\gamma}\frac{dl}{dS},\ dN = \frac{1}{\gamma}(dI)^2\frac{dl}{dS},\ dN = \frac{1}{\gamma}i^2 dV.$$

После интегрирования последнего выражения получим:

$$N = \frac{i^2}{\gamma},\ N = \rho i^2.$$

Последнее выражение и есть закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме.

Объединенный закон постоянного тока. Для постоянного тока $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$.

Исходя из первого закона Кирхгофа получим:

$$\operatorname{div}\vec{i} = -\frac{\partial \rho}{\partial t},\ \operatorname{div}\gamma\vec{E} = 0,\ \operatorname{div}\operatorname{grad}U = 0,\ \Delta U = 0,$$

Граничные условия для потенциала постоянного тока:

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} - \frac{\partial U_2}{\partial t} = \frac{\partial \mathrm{E}_{21}}{\partial t},\ E_{t1} - E_{t2} = \frac{\partial \mathrm{E}_{21}}{\partial t}\ ,$$

$$i_{n1} = i_{n2},\ \gamma_1\frac{\partial U_1}{\partial n} = \gamma_2\frac{\partial U_2}{\partial n}.$$

Экспериментально установлено, что ток (упорядоченное движение зарядов) создает постоянное электрическое поле и постоянное магнитное поле. Поскольку эти поля постоянные во времени и не оказывают влияния друг на друга, их можно рассматривать независимо.

При решении задач электрометрии пользуются понятием точечного источника тока. Это шарообразный объект с бесконечно малым радиусом. При расположении точечного источника тока в пространстве с него стекает ток I. Ток в однородной изотропной среде с электропроводностью γ будет растекаться радиально (вихрь и расходимость вектора тока равны 0). Плотность тока на удалении R будет равна $i = I/4\pi R^2$. Напряженность поля $E = I/4\pi\gamma R^2$, ее

направление совпадает с направлением вектора плотности тока. Потенциал поля вычислим в соответствии с его определением:

$$E = -\text{grad}\, U,\ U = I / 4\pi\gamma R.$$

Рассмотрим поле точечного источника тока в присутствии вертикальной границы раздела сред с проводимостью γ_1 и γ_2 (рис. 29). Расстояние источника от границы до источника обозначим *d*. Границу атмосферы (γ=0) с земной поверхностью будем учитывать удвоением силы тока точечного источника. Решение задачи найдем методом зеркальных изображений. Влияние границы раздела будем учитывать введением фиктивного источника тока (M_2), с которого стекает ток $2I_2$, расположенного зеркально симметрично относительно реального источника (M_1).

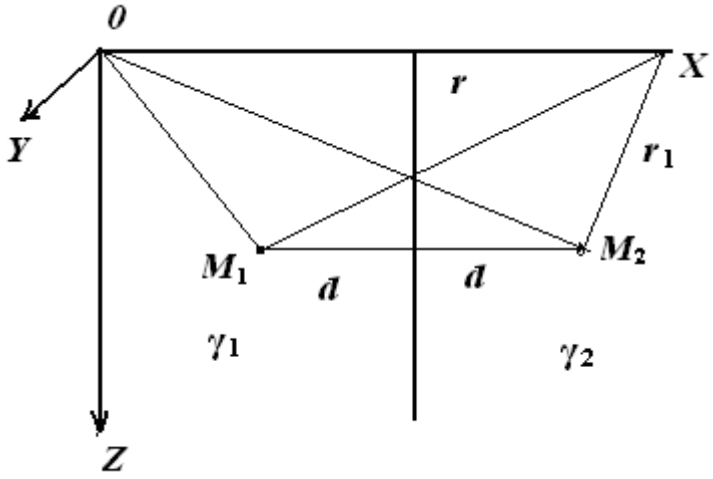


Рис. 29. Точечный источник в присутствии вертикальной границы двух сред

Потенциал точечного источника:

$$U = \frac{I}{2\pi\gamma_1 r}.$$

Потенциал электрического поля тока в первой среде:

$$U_1 = \frac{I}{2\pi\gamma_1 r} + \frac{I_1}{2\pi\gamma_1 r_1},$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, $r_1 = \sqrt{(2d - x)^2 + y^2 + z^2}$.

Потенциал во второй среде вычислим, поместив в точку с действительным зарядом фиктивный источник тока, с которого стекает ток I_2:

$$U_2 = \frac{I_2}{2\pi\gamma_2}\frac{1}{r}.$$

Исходя из граничных условий определим неизвестные I_1 и I_2:

$$U_1 = U_2,\ \gamma_1\frac{\partial U_1}{\partial x} = \gamma_2\frac{\partial U_2}{\partial x} \text{ при } x = d\ .$$

Обозначим $R = \sqrt{d^2 + y^2 + z^2}$. Тогда получим:

$$\frac{I}{2\pi\gamma_1 R} + \frac{I_1}{2\pi\gamma_{1R}} = \frac{I_2}{2\pi\gamma_2 R},\ \gamma_1\frac{I}{2\pi\gamma_1}\frac{d}{R^3} - \gamma_1\frac{I_1}{2\pi\gamma_1}\frac{d}{R^3} = \gamma_2\frac{I_2}{2\pi\gamma_2}\frac{d}{R^3},$$

$$I - I_1 = I_2,\ \frac{I + I_1}{\gamma_1} = \frac{I_2}{\gamma_2}.$$

Находим значения неизвестных и подставляем в выражения для потенциала:

$$U_1 = \frac{I}{2\pi\gamma_1}\left(\frac{1}{r} + \frac{k_{12}}{r_1}\right),\quad U_2 = \frac{I}{2\pi\gamma_2}\frac{1 + k_{12}}{r},$$

где $k_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$ называют коэффициентом отражения тока, $(1 - k_{12})$ – коэффициентом пропускания тока. Пример расчета потенциала, выполненного с помощью пакета Mathcad, приведен на рис. 30. Излом кривой в центральной части соответствует положению контакта.

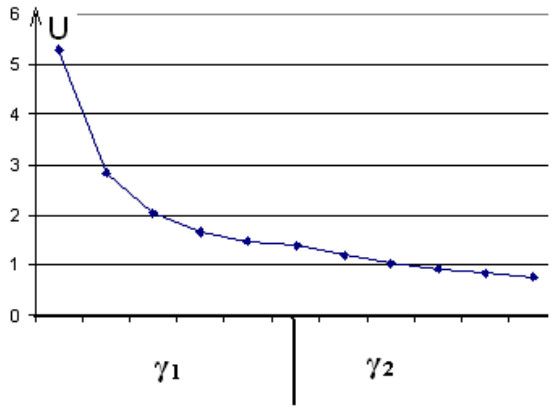


Рис. 30. График зависимости потенциала точечного источника тока в присутствии вертикального контакта

ПРОВОДЯЩИЙ ШАР В ПОЛЕ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

Пусть в среде с проводимостью γ_1 находятся шар радиусом a с проводимостью γ_2 и точечный источник тока (заземление), с которого в

окружающую среду стекает ток I (рис. 31). Задачу будем решать в сферической системе координат, начало которой совместим с центром шара. Полярную ось направим от начала координат к точечному источнику, расположенному вне шара. В такой системе координат решение не будет зависеть от полярного угла φ. Потенциал поля точечного источника поля обозначим U_1, потенциал поля, вызванного наличием проводящего шара, обозначим U_2. Потенциал суммарного поля

$$U = U_2 + U_1.$$

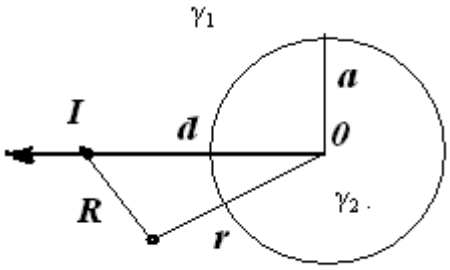


Рис. 30. Шар в поле точечного источника тока

Потенциалы U_1 и U_2 удовлетворяют уравнению Лапласа, а на границе шара выполняются условия непрерывности потенциала и разрыва нормальной составляющей напряженности поля:

$$U_1 = U_2,\ \gamma_1 \frac{\partial U_1}{\partial r} = \gamma_2 \frac{\partial U_2}{\partial r}.$$

Расстояние между источником тока и точкой расчета

$$R = \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd\cos\theta}.$$

Вне шара потенциал примет вид:

$$U_1 = \frac{I}{4\pi^2 R\gamma} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_n P_n(\cos\theta)}{r^{n+1}},\ a<R,$$

где $P_n(\cos\theta)$ – полиномы Лежандра. Полиномы Лежандра могут быть вычислены по рекуррентным соотношениям:

$$P_0(x) = 1,\ \ P_1(x) = x,\ \ (n+1)P_{n+1}(x) = (2n+1)xP_n(x) - nP_{n-1}(x).$$

Внутри шара потенциал

$$U_2 = \frac{I}{4\pi^2 R\gamma} + \sum_{n=0}^{\infty} A_n P_n(\cos\theta) r^n .$$

Разложим величину $1/R$ в ряд по полиномам Лежандра:

$$\text{при } r < d \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{d}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{r}{d}\right)^n P_n(\cos\theta),$$

$$\text{при } r<d \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{r}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{d}{r}\right)^n P_n(\cos\theta).$$

Это разложение иногда принимают за определение полиномов Лежандра.

Граничные условия примут вид ($r=a$):

$$\sum_{n=0}^{\infty}\frac{B_n P_n(\cos\theta)}{a^{n+1}} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n P_n(\cos\theta) a^n ,$$

$$\gamma_1\sum_{m=0}^{\infty}\left(\frac{In}{4\pi\gamma_1 da}\left(\frac{a}{d}\right)^n - \frac{(n+1)B_n}{a^{n+2}}\right)P_n(\cos\theta) = \gamma_2\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{In}{4\pi da\gamma_2}\left(\frac{a}{d}\right)^n + nA_n a^{n-1}\right)P_n(\cos\theta).$$

Граничные условия справедливы для любого угла θ. Следовательно, коэффициенты при полиномах Лежандра с одинаковыми индексами должны быть равны. Отсюда:

$$\frac{B_n}{a^{n+1}} = A_n a^n ,$$

$$\gamma_1\left(\frac{In}{4\pi da\gamma_1}\left(\frac{a}{d}\right)^n - \frac{(n+1)B_n}{a^{n+2}}\right) = \gamma_2\left(\frac{In}{4\pi da\gamma_2}\left(\frac{a}{d}\right)^n + nAa^{n-1}\right).$$

Коэффициенты A_n и B_n рассчитываются следующим образом:

$$A_n = \frac{I}{4\pi d^{n+1}\gamma_1}\frac{(\gamma_1-\gamma_2)n}{n\gamma_2+(n+1)\gamma_1}, \quad B_n = \frac{I}{4\pi\gamma_1 d^{n+1}}\frac{(\gamma_1-\gamma_2)na^{2n+1}}{n\gamma_2+(n+1)\gamma_1}.$$

Потенциал электрического поля тока, стекающего с точечного источника вне шара равен

$$U_1 = \frac{I}{4\pi\gamma_1}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\sum_{n+1}^{\infty}\frac{(\gamma_1-\gamma_2)n}{n\gamma_2+(n+1)\gamma_1}\left(\frac{a}{d}\right)^n\left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} P_n(\cos\theta)\right),$$

внутри шара он определяется выражением

$$U_2 = \frac{I}{4\pi\gamma_1}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\sum_{n+1}^{\infty}\frac{(\gamma_1 - \gamma_2)n}{n\gamma_2 + (n+1)\gamma_1}\left(\frac{a}{d}\right)^n\left(\frac{r}{a}\right)^{n+1} P_n(\cos\theta)\right).$$

ЗАДАЧИ

1. Найдите потенциал бесконечного вертикально поляризованного цилиндра с радиусом *a* и электропроводностью γ_1, расположенного в однородной, изолированной, безграничной среде с электропроводностью γ_2.

Ответ: $U_1 = \frac{\gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2}\Delta U_0 \frac{a}{r}\cos\theta$, $U_2 = -\frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2}\Delta U_0 \frac{r}{a}\cos\theta$.

2. Вычислите коэффициенты отражения и пропускания для контакта сред с проводимостью 10^8 и 10^{12} $(\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$.

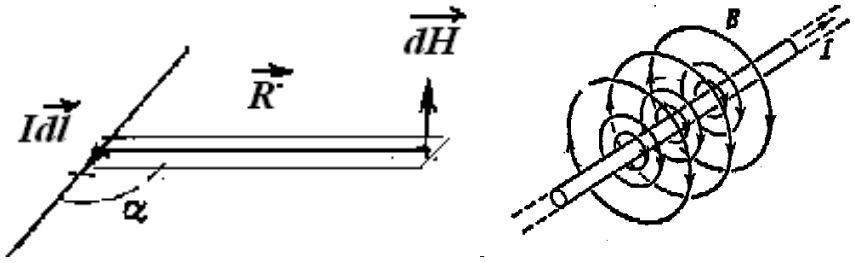
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Возьмем проводник с током. Выделим элемент тока. Закон Био – Савара определяет напряженность магнитного поля (рис. 32):

$$dH = \frac{Idl}{cR^2}\sin\alpha.$$

Это уравнение в векторной форме приобретает вид:

$$d\vec{H} = \frac{I[d\vec{l}\,\vec{R}]}{cR^3}.$$



а б

Рис. 32. К определению магнитного поля тока (а). Изолинии магнитной индукции линейного тока (б).

Отсюда магнитное поле линейного тока

$$\vec{H} = \int_l \frac{[d\vec{I}\vec{R}]}{cR^3}.$$

Аналогичные выражения получим для токов с плотностью $\vec{j}$, растекающихся по поверхности и в пространстве:

$$\vec{H} = \int_S \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3},\ \vec{H} = \int_V \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3}.$$

Напряженность поля в среде определится формулой:

$$\vec{H} = \int_l \frac{[d\vec{l}\vec{R}]}{cR^3} + \int_S \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3} + \int_V \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3},$$

где интегрирование проводится по всем проводникам с током. В матричной форме эти выражения приобретают вид:

$$[\vec{j}\vec{R}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ j_x & j_y & j_z \\ x-x_0 & y-y_0 & z-z_0 \end{vmatrix}.$$

Составляющие вектора поля принимают вид:

$$H_x = \int_V \frac{j_y(z-z_0) - j_z(y-y_0)}{cR^3} dV;\ H_y = \int_V \frac{j_x(z-z_0) - j_z(x-x_0)}{cR^3} dV;$$

$$H_z = \int_V \frac{j_x(y-y_0) - j_y(x-x_0)}{cR^3} dV.$$

Закон Био – Савара в дифференциальной форме устанавливает соотношение между физическими величинами в бесконечно малой области, теоретически – в точке – области с нулевым объемом. Закон имеет вид:

$$\mathrm{rot}\,\vec{H} = \frac{4\pi\vec{j}}{c}.$$

Закон констатирует, что магнитное поле создается токами. Магнитное поле является вихрями токов.

Это уравнение в проекциях на оси координат:

$$\mathrm{rot}_x\vec{H} = \frac{4\pi j_x}{c},\ \mathrm{rot}_y\vec{H} = \frac{4\pi j_y}{c},\ \mathrm{rot}_z\vec{H} = \frac{4\pi j_z}{c}.$$

Рассмотрим потоки векторов левой и правой части закона Био – Савара через поверхность *S*:

$$\int_s \mathrm{rot}_n \vec{H} dS = \int_s \frac{4\pi \vec{i}_n}{c} dS .$$

Применяя формулу Стокса

$$\int_S \mathrm{rot}\, \vec{A}_n dS = \oint_S A_l dl$$

получим закон Био – Савара в интегральной форме:

$$\oint H_l dl = \frac{4\pi I}{c} .$$

Закон в интегральной форме устанавливает соотношение между характеристиками поля и среды в макрообъеме. Величину $\oint H_l dl$ по аналогии с электродвижущей силой называют магнитодвижущей силой. Закон Био – Савара в интегральной форме позволяет находить ток через магнитное поле и наоборот.

Найдем поле тока, протекающего с постоянной плотностью i по трубе с внешним диаметром b и внутренним диаметром a. В силу цилиндрической симметрии силовые линии магнитного поля трубы имеют форму окружности. Совместим контур радиуса R с одной из силовых линий. Закон Био – Савара для этого контура после интегрирования примет вид:

$$2\pi RH = \frac{4\pi I}{c},\ H = \frac{2I}{cR},\ H = 2\pi j \frac{a^2 - b^2}{cr} .$$

Оценим возможную величину тока, протекающего во внешнем ядре, если бы им создавалось магнитное поле Земли. Напряженность поля на экваторе составляет приблизительно 0,5 Э, радиус Земли – приблизительно 640000000 см, скорость света $3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Отсюда величина тока

$$I = \frac{1}{3 \cdot 10^9} \times \frac{0.5 \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 6.4 \cdot 10^8}{2} = 1.6 \cdot 10^9 \text{ А.}$$

Это очень большой ток, наличие которого должно вызывать выделение огромного количества тепла.

Экспериментально установлено, что на проводник длиной dl с током I, находящийся в магнитном поле B, действует сила $\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$. Произведение $Id\vec{l}$ называют элементом тока.

Био и Савар установили соотношение для элемента линейного тока:

$$d\vec{H} = \frac{Id\vec{l} \times R}{cR^3},$$

откуда

$$\vec{H} = \int_L \frac{Id\vec{l} \times R}{cR^3}.$$

Аналогично получим выражения для магнитного поля поверхностного тока с плотностью *j*, и объемного тока с плотностью *i*:

$$\vec{H} = \int_S \frac{\vec{j} \times \vec{R}}{cR^3} dS, \quad \vec{H} = \int_V \frac{\vec{i} \times \vec{R}}{cR^3} dV,$$

или

$$\vec{H} = \int \frac{\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ i_x & i_y & i_z \\ x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \end{vmatrix}}{cR^3} dV,$$

или в проекциях

$$\vec{H}_x = \int_V \frac{(z - z_0)i_y - (y - y_0)i_z}{cR^3} dV,$$

$$\vec{H}_y = \int_V \frac{(x - x_0)i_z - (z - z_0)i_x}{cR^3} dV, \qquad \vec{H}_z = \int_V \frac{(y - y_0)i_x - (x - x_0)i_y}{cR^3} dV.$$

Векторный потенциал. Запишем векторы:

$$\vec{A} = \int_V \frac{\vec{i}\, dV}{cR}, \ \vec{A} = \int_S \frac{\vec{j} dl}{cR}, \ \ \vec{A} = \int_L \frac{Idl}{cR}.$$

Вычислим вихрь вектора $\vec{A}$ объемного тока:

$$\text{rot}\, \vec{A} = \int_V \frac{\vec{i}\, dV}{cR} = \int_V \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \dfrac{\partial}{\partial x} & \dfrac{\partial}{\partial y} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ \dfrac{i_x}{cR} & \dfrac{i_y}{cR} & \dfrac{i_z}{cr} \end{vmatrix} = \vec{i} \int_V \frac{\left(i_z(y - y_0) - i_y(z - z_0)\right)dV}{cR^3} +$$

$$+ \vec{j} \int_V \frac{\left(i_y(z - z_0) - i_z(y - y_0)\right)dV}{cR^3} + \vec{k} \int_V \frac{\left(i_y(x - x_0) - i_x(y - y_0)\right)dV}{cR^3}.$$

Аналогичные выражения получим для векторов $\vec{A}$ поверхностного и линейного токов. Вектор $\vec{A}$ называют **вектор-потенциалом** магнитного поля. Такое название вызвано сходством аналитического выражения содержащего c $\vec{A}$ с выражениями потенциала точечного, поверхностного и объемного источников электрического и гравитационного поля:

$$U = \int_V \frac{\rho dV}{R} \text{ и } \vec{A} = \int_V \frac{\vec{i}\, dV}{cR} \text{ и т. д.}$$

Однако вектор-потенциал не имеет ясного физического истолкования и используется как удобная вспомогательная величина. Это позволяет напряженность магнитного поля постоянного тока представить в следующем виде:

$$\vec{H} = \operatorname{rot} \vec{A},$$

$$H_x = \operatorname{rot}_x \vec{A},\ H_y = \operatorname{rot}_y \vec{A},\ H_z = \operatorname{rot}_z \vec{A}.$$

что вектор-потенциал является решением уравнения Пуассона-Лапласа:

$$\Delta\vec{A} = -\frac{4\pi\vec{i}}{c} \text{ в точках с токами,}$$

$$\Delta\vec{A} = 0 \qquad \text{в точках без токов.}$$

В проекциях на декартовы оси координат уравнение примет вид:

$$\Delta\vec{A}_x = -\frac{4\pi\vec{i}_x}{c}, \qquad \Delta\vec{A}_y = -\frac{4\pi\vec{i}_y}{c}, \qquad \Delta\vec{A}_z = -\frac{4\pi\vec{i}_z}{c},$$

$$\Delta\vec{A}_x = 0, \qquad \Delta\vec{A}_y = 0, \qquad \Delta\vec{A}_z = 0.$$

Так же, как и для потенциала, расходимость вектор-потенциала равна 0:

$$\operatorname{div} \vec{A} = 0.$$

Найдем вихрь вектора напряженности магнитного поля постоянного тока:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} - \Delta\vec{A} = \frac{4\pi\vec{i}}{c}$$

Формула $\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi\vec{i}}{c}$ связывает напряженность магнитного поля и плотность тока в точке и является записью закона Био – Савара в

дифференциальной форме. Источником магнитного поля является постоянный ток. Магнитное поле тока вихревое, следовательно – непотенциальное.

Закон Био – Савара в интегральной форме связывающий ток и напряженность магнитного поля, имеет вид:

$$\oint H_l dl = \frac{4\pi I}{c}.$$

Вычислим **магнитное поле кольцевого тока.** Для решения задачи выберем цилиндрическую систему координат, радиус кольца обозначим a. Векторный потенциал имеет только одну компоненту $A_\varphi(r,z)$:

$$A_\varphi = \frac{I}{c}\int\frac{dl}{R} = \frac{I}{c}\oint\frac{\cos\varphi dl}{R} = \frac{2I}{c}\int_0^\pi \frac{a\cos\varphi d\varphi}{(a^2+r^2+z^2-2ar\cos\varphi)^{1/2}}.$$

Решение может быть представлено в виде линейной комбинации эллиптических интегралов первого и второго рода E и K:

$$A_\varphi = \frac{4I}{ck}\sqrt{\frac{a}{L}}\left[\left(1+\frac{k^2}{2}\right)K - E\right],$$

где $k^2 = \frac{4ar}{L^2}$, $L = \sqrt{(a+r)^2+z^2}$, $K = \int_0^{\pi/2}\frac{d\theta}{\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}}$, $E = \int_0^{\pi/2}\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}d\theta$.

Магнитная индукция определится следующим образом:

$$B_\varphi = 0,\ B_r = -\frac{\partial A_\varphi}{\partial z} = \frac{2zI}{crL}\left[-K + \frac{a^2+r^2+z^2}{(a-r)^2+z^2}E\right],$$

$$B_z = \frac{1}{r}\frac{\partial(rA_\varphi)}{\partial z} = \frac{2I}{cL^2}\left[K + \frac{a^2-r^2-z^2}{(a-r)^2+z^2}\right].$$

На оси кольца (r=0), $B_z = \frac{2\pi a^2 I}{c(a^2+z^2)^{3/2}}$. По результатам измерений известно магнитное поле на полюсах. Последнее соотношение позволяет оценить силу кольцевого тока радиусом 1000 км, протекающего в экваториальной плоскости, который мог бы возбуждать геомагнитное поле. Величина тока оценивается в 10^{10} А. Это слишком большая величина. В качестве источника геомагнитного поля необходимо искать другое явление.

Прецессия протона в геомагнитном поле. Протон обладает моментом количества движения *P* и магнитным моментом *M* (рис. 33, а). Эти векторные величины связаны зависимостью:

$$\vec{M} = \gamma \vec{P},$$

где γ – гиромагнитное отношение протона. На протон в магнитном поле с индукцией *T* действует момент силы:

$$\vec{N} = \vec{M} \times \vec{T}.$$

Скорость изменения момента количества движения протона:

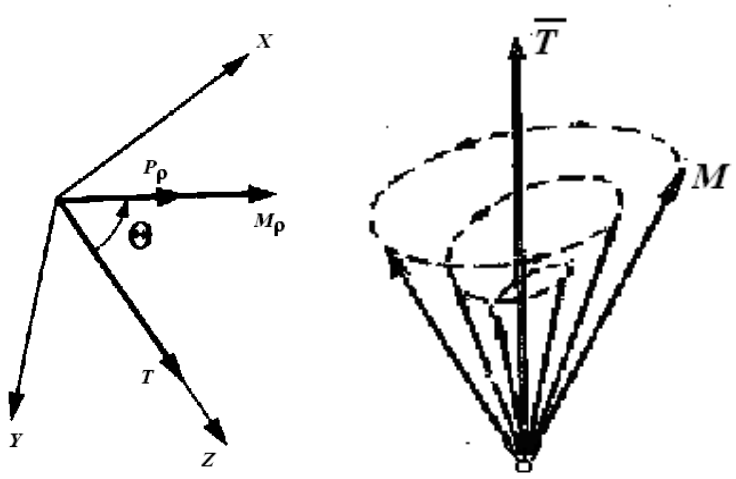
$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{N} = \vec{M} \times \vec{T}.$$

Исключим величину *P* из последнего уравнения, получим:

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma \vec{M} \times \vec{T}.$$

Поскольку земное магнитное поле можно считать во время измерений постоянным, то после дифференцирования по времени получим дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2\vec{M}}{dt^2} = \gamma \frac{d\vec{M}}{dt} \times \vec{T} = \gamma^2 \left(\vec{M} \times \vec{T}\right) \times \vec{T}.$$



а б

Рис. 33. К выводу уравнения прецессии протона в магнитном поле

Используем тождество [*A*[*BC*]]=*B*(*AC*)-*C*(*AB*), получим

$$\frac{d^2\vec{M}}{dt^2} = \gamma^2\{(\vec{M}\vec{T})\vec{T} - T^2\vec{M}\}.$$

Направим ось z по направлению T, тогда $T=T_z$. $T_x=T_y=0$. Проекции векторного уравнения на оси координат:

$$\frac{d^2M_z}{dt^2} = 0, \quad \frac{d^2M_x}{dt^2} = -\gamma^2T^2M_x.$$

Решение первого уравнения $M = M\cos\Theta$ приводит к выводу о неизменности угла между M и T. Решение второго уравнения позволяет получить частоту свободной ядерной прецессии – частоту вращения магнитного момента протона вокруг вектора магнитной индукции (рис. 33, б):

$$\omega = \gamma T.$$

ЗАДАЧИ

1. На противоположных полюсах сплошного шара с электропроводностью γ находятся точечные заземления. По одному из них подводится ток I, а по другому – отводится. Определить плотность тока и потенциал внутри шара.

2. Вычислите частоту прецессии протона в магнитном поле в нашем городе, если T=55000 нТл.

3. Вычислите напряженность магнитного поля над бесконечной плоскостью, по которой протекает ток с постоянной плотностью i. (Используйте формулу вычисления телесного угла.)

4. Определите магнитное поле кольцевого тока в центре кольца радиусом a=10 см и током I=0,5 А.

ПЕРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Теорию электромагнитного поля создал выдающийся шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл. Он теоретически доказал, что всякое изменение со временем магнитного поля приводит к возникновению переменного электрического поля, а всякое изменение со временем электрического поля порождает переменное магнитное поле. Эти порождающие друг друга переменные электрические и магнитные поля образуют единое электромагнитное поле. Источником электромагнитного поля служат ускоренно движущиеся электрические заряды. Вокруг зарядов, движущихся с постоянной скоростью (например, вокруг проводника с протекающим по нему электрическим током), создается постоянное магнитное поле. Некоторые графические схемы образования и распространения электромагнитного поля приведены на рис. 34.

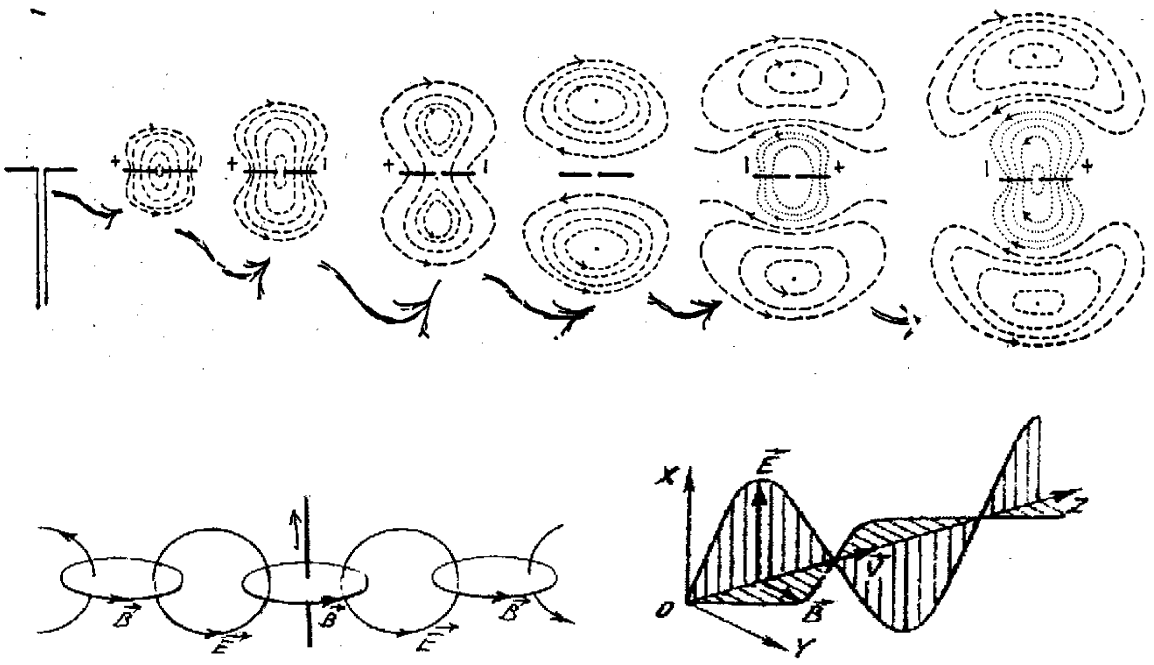


Рис. 34. Схемы образования и распространения электромагнитной волны

Под электромагнитным полем понимают вид материи, характеризующийся совокупностью взаимно связанных и взаимно обусловливающих друг друга электрического и магнитного полей. Электромагнитное поле обладает

характерными для него электрическими и магнитными свойствами, доступными наблюдению.

Электромагнитная волна – распространяющееся в пространстве электромагнитное поле (ЭМП). Впервые электромагнитные волны были получены Г. Герцем в его опытах, выполненных в 1888 – 1889 гг. (рис. 34). Сначала Герц был противником теории Максвелла. Целью опытов было опровержение гипотезы Максвелла, а результат опытов оказался блестящим подтверждением этой теории.

Двести лет назад источником электрического поля считались электрические заряды, а источником магнитного поля – магнитные заряды. Сейчас установлено, что изолированных магнитных полюсов нет, и источником магнитного поля считают молекулярные токи. Но по сложившейся традиции среднюю интенсивность магнитного поля в намагниченном веществе называют магнитной индукцией, а среднюю интенсивность электрического поля в диэлектрике – напряженностью электрического поля.

Уравнения Максвелла отражают экспериментально установленные фундаментальные соотношения между характеристиками электрического и магнитного полей. **Закон сохранения заряда** – один из фундаментальных законов природы – выполняется абсолютно точно. Полный заряд любой системы остается неизменным, если в нее не добавляются посторонние заряды извне:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{i} = 0,$$

где ρ – плотность электрических зарядов.

Максвелл предложил рассматривать плотность тока как сумму плотности тока проводимости $\vec{i}$ и плотности тока смещения $\frac{\partial}{\partial t}\frac{\vec{D}}{4\pi}$, который не связан с переносом заряда. Плотность тока смещения можно представлять как изменение во времени электрического поля между обкладками конденсатора (часто для краткости слово «плотность» опускают и говорят о токе). Первое уравнение Максвелла представляет собой закон Био – Савара для переменного тока в

дифференциальной форме. Оно отличается от закона Био – Савара для постоянного тока учетом тока смещения:

$$\text{rot}\,\vec{H} = \frac{4\pi}{c}\left(\vec{i} + \frac{\partial}{\partial t}\frac{\vec{D}}{4\pi}\right).$$

Магнитное поле создается движущимися электрическими зарядами и меняющимся во времени электрическим полем. Магнитные эффекты тока смещения и тока проводимости одинаковы. Поле полного тока является соленоидальным:

$$\text{div}\left(\vec{i} + \frac{\partial}{\partial t}\frac{\vec{D}}{4\pi}\right) = 0.$$

Данное уравнение является первым законом Кирхгофа. Вихрями магнитного поля являются токи проводимости и токи смещения. Линии полного тока нигде не начинаются и не кончаются, они замкнутые. В стационарном поле ток смещения отсутствует (равен 0).

Токи проводимости и смещения одинаковым образом возбуждают магнитное поле. Но ток проводимости – это смещение зарядов, а ток смещения не сопровождается движением частиц, ему отвечает изменение электрического поля. Ток смещения сопровождается выделением джоулева тепла, а ток смещения выделением джоулева тепла не сопровождается. В диэлектриках с поляризованными молекулами токи смещения вызывают выделение тепла, связанное с изменением поляризации. Выделение такого тепла описывается законами, отличающимися от законов Джоуля – Ленца.

Второе уравнение Максвелла представляет собой закон электромагнитной индукции Фарадея в дифференциальной форме:

$$\text{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Вихрями электрического поля являются изменения во времени магнитного поля. После некоторых преобразований из него получим:

$$\text{ЭДС} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}, \left(\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}\right),$$

где Φ – магнитный поток ($\Phi = \int \vec{B} d\vec{s}$). ЭДС, возникающая в проводнике, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через контур этого проводника. Знак минус означает, что направление ЭДС и направление магнитного потока при его увеличении образуют левовинтовую систему. При всяком изменении потока магнитной индукции через проводящий замкнутый контур в нем возникают токи в таком направлении, что магнитное поле этих токов стремится компенсировать изменение магнитного потока. ЭДС в контуре равна работе, совершаемой электрическим полем по перемещению единичного заряда по заданному замкнутому контуру ($\text{ЭДС} = \int \vec{E} d\vec{l}$).

Электрическое поле создается не только зарядами, но и меняющимся во времени магнитным полем. Векторы электрического и магнитного поля взаимно перпендикулярны. Закон индукции Фарадея – Максвелла показывает, что силовой величиной, наряду с напряженностью электрического поля, является магнитная индукция; именно индукция заслуживает название «напряженность» магнитного поля.

Третье и четвертое уранения Максвелла представляют собой запись теоремы Гаусса для электрического и магнитного полей:

$$\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho .$$

Плотность источников электрического поля равна произведению плотности зарядов на 4π. Линии электрической индукции начинаются и заканчиваются на свободных зарядах.

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 .$$

Линии вектора магнитной индукции замкнуты, т.е. магнитное поле соленоидальное. В природе не существует магнитных зарядов. Магнитное поле чисто вихревое, оно возбуждается электрическими токами.

Для векторов электрической поляризации P и намагниченности J не существует общих и всегда справедливых законов их поведения, подобных уравнениям Максвелла.

Законы Максвелла записывают также в интегральной форме. После интегрирования уравнений Максвелла по некоторому объему *V*, ограниченному замкнутой поверхностью *S*, применим формулу Гаусса – Остроградского. Вычислим потоки и заменим их по формуле Стокса. После вынесения производных по времени за знак интеграла получим уравнения Максвелла в интегральной форме. Первое уравнение Максвелла в интегральной форме:

$$\oint_S D_n dS = \int_V q dV ,$$

поток вектора электрической индукции через любую замкнутую поверхность равен сумме свободных зарядов, находящихся внутри этой поверхности. Данное уравнение является обобщением закона Кулона на объемно распределенные заряды и произвольное электрическое поле.

Аналогично получим второе уравнение Максвелла:

$$\text{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

составим потоки от обеих частей через некоторую поверхность

$$\int_S \text{rot}_n \vec{E} dS = -\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\int_S B_n dS .$$

Применим к левой части уравнения формулу Стокса, получим:

$$\oint_l E_l dl = -\frac{\partial}{\partial t}\int_S B_n dS .$$

В правой части стоит скорость изменения магнитного потока через поверхность, опирающуюся на контур. Это выражение обобщение закона Фарадея на любую часть пространства;

$$\oint_S B_n dS = 0,$$

число силовых линий, входящих в некоторый объем, равно числу выходящих линий.

Для четвертого уравнения интегральная форма имеет вид:

$$\oint_l H_l dl = \int_S j_n dS + \frac{\partial}{\partial t}\int_S D_n dS .$$

В правой части стоит сумма токов проводимости и смещения через поверхность *S*, слева – циркуляция магнитного поля. Циркуляция магнитного поля по любому замкнутому контуру равна полному току, протекающему через этот контур.

С помощью уравнений Максвелла можно найти напряженность электрического поля E и напряженность магнитного поля H, если известны плотность зарядов ρ и плотность тока i. Количество неизвестных, которые необходимо определить, шесть (по 3 компоненты для каждого вектора E и H).

Найдем отношение токов проводимости и смещения. Пусть задано гармоническое поле $E = E_0 \sin \omega t$. Ток проводимости равен $i = \gamma E = \gamma E_0 \sin \omega t$. Ток смещения равен $\frac{\partial}{\partial t}\frac{D}{4\pi} = \frac{\varepsilon}{4\pi}\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\varepsilon\omega}{4\pi}E_0 \cos \omega t$. Отношение амплитуд токов, с учетом того, что синус и косинус меньше единицы: $\frac{i_{ПР}}{i_{СМ}} = \frac{2\gamma}{\varepsilon\omega}$.

Система уравнений Максвелла является полной, из нее можно определить все свойства поля. Она играет роль основополагающих аксиом для построения всей теории макроскопического переменного электромагнитного поля. Если материальные тела, находящиеся в поле, неподвижны, то в каждой точке μ, γ, ε остаются постоянными, в поле нет постоянных магнитов и ферромагнетиков, полная система дифференциальных уравнений классической электродинамики имеет вид:

Полная система уравнений Максвелла

$$\mathrm{rot}\vec{H} = \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + 4\pi\frac{\vec{i}}{c},$$

$$\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

$$\mathrm{div}\,\vec{B} = 0,$$

$$\mathrm{div}\,\vec{D} = 4\pi\rho,$$

$$\vec{D} = \varepsilon\vec{E} = \vec{E} + 4\pi\vec{P},$$

Граничные условия

$$E_{t1} - E_{t2} = -\frac{\partial \mathrm{E}_{21}}{\partial t},$$

$$D_{n1} - D_{n2} = 4\pi\sigma,$$

$$B_{n1} = B_{n2},$$

$$H_{t1} - H_{t2} = \frac{4\pi i_n}{c},$$

$H_{t1} - H_{t2} = 0$, если

$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} = \vec{B} - 4\pi\vec{J}$, поверхностные токи

$,\vec{i} = \gamma(\vec{E} + \vec{E}_c)$ отсутствуют

Эту систему дополняют уравнением зависимости энергии поля от напряженности поля, которое позволяет проверить предшествующие уравнения экспериментально:

$$W = \frac{1}{8\pi}\int \vec{D}\vec{E}dV + \frac{1}{8\pi}\int \vec{B}\vec{H}dV\,.$$

Последнее уравнение характеризует преобразование энергии в процессах, которые описываются четырьмя уравнениями Максвелла. Величину $\vec{S} = \frac{c}{4\pi}\left[\vec{E}\vec{H}\right]$ называют вектором Умова – Пойнтинга, его истолковывают как поток электромагнитной энергии – количество энергии, протекающей в единицу времени через перпендикулярную направлению потока поверхность единичной площади. Направление вектора Умова – Пойнтинга, а следовательно, и направление потока энергии в волне, совпадает с направлением распространения волны. Скорость передачи энергии в изотропной среде совпадает со скоростью распространения волны. Справедлива интегральная теорема Пойнтинга: электромагнитная энергия вытекает через поверхность S из рассматриваемого объема V в количестве $\oint_S S_n dS$ единиц энергии в секунду. Объемная плотность энергии электромагнитного поля может быть оценена по формуле (СГС):

$$S = c\,(E^2+B^2)/8\pi.$$

Плотность магнитной энергии в ЭМП равна плотности электрической энергии.

Ослабление энергии электрического поля E_0 в веществе описывается формулой

$$E=E_0 e^{-kx},\ k \cong 2\pi\nu\beta\mu^{1/2}/\varepsilon,$$

где β – коэффициент потерь среды, μ – магнитная проницаемость, ν – частота ЭМП. Для воды при температуре 25 ^{0}С на частоте 3 МГц глубина проникновения

1.4 см, для льда – 1.2 м. Неметаллические материалы полупрозрачны для СВЧ ЭМП, которые проникают в них на значительную глубину.

В приведенных выше уравнениях не учитывается способ возбуждения поля. Токи и заряды могут создаваться химическими и механическими процессами, а не только электромагнитными силами. Силы неэлектромагнитного происхождения называют сторонними силами. С учетом сторонних сил уравнения Максвелла записывают:

$$\text{rot}\,\vec{H}=\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}+4\pi(\vec{i}+\vec{i}_{cm}),\ \text{rot}\,\vec{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{B}}{\partial t},\ \text{div}\,\vec{B}=0,\ \ \text{div}\,\vec{D}=4\pi(\rho+\rho_{cm}).$$

Полноту системы уравнений Максвелла характеризует теорема: электромагнитное поле $\vec{E}(x,y,z,0)$, $\vec{H}(x,y,z,0)$ в любой момент времени $t>0$ в любой точке объема V, ограниченного замкнутой поверхностью S, однозначно определяется уравнениями Максвелла, если известны начальные значения $\vec{E}(x,y,z,0)$, $\vec{H}(x,y,z,0)$ во всем объеме V и либо для $\vec{E}(x,y,z0)$, либо для $\vec{H}(x,y,z,0)$ известны граничные значения его тангенциальных составляющих на поверхности S в течение всего изучаемого промежутка времени $(0,t)$.

ВОЛНОВЫЕ УРАВНЕНИЯ

Применим операцию вихря к первому и второму уравнению Максвелла для однородной изотропной среды:

$$\text{rot rot}\,\vec{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\text{rot}\,\vec{B},\ \text{grad}(\text{div}\vec{E})-\Delta\vec{E}=-\frac{\mu}{c}\frac{\partial}{\partial t}\text{rot}\vec{H},\ \Delta\vec{E}=\frac{\mu}{c}\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{c}\frac{\partial\varepsilon\vec{E}}{\partial t}+4\pi\frac{\vec{i}}{c}\right)$$

$$\text{rot rot}\,\vec{H}=\frac{1}{c}\text{rot}\left(\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right)+\frac{4\pi}{c}\text{rot}\,\vec{i},\ -\Delta\vec{H}=\frac{\varepsilon}{c}\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{-1}{c}\mu\right)+\frac{4\pi\gamma}{c}\text{rot}\,\vec{E}.$$

$$\Delta\vec{H}-\frac{4\pi\mu\gamma}{c^2}\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}-\frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}=0$$

$$\Delta\vec{E}-\frac{\mu\varepsilon}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}-\frac{4\pi\gamma\mu}{c^2}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}=0$$

Полученные уравнения называют телеграфными. В теории рассматривают частные случаи телеграфных уравнений:

1. Волновая модель поля рассматривается при распространении электромагнитных волн (ЭМВ) в изоляторе (γ=0):

$$\Delta\vec{H} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2} = 0,\ \Delta\vec{E} - \frac{\mu\varepsilon}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} = 0.$$

2. Квазистационарная модель рассматривается для относительно мед-ленно меняющихся во времени полей (можно пренебречь второй производ-ной по времени по сравнению с первой):

$$\Delta\vec{H} - \frac{4\pi\mu\gamma}{c^2}\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} = 0,\ \Delta\vec{E} - \frac{4\pi\gamma\mu}{c^2}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} = 0.$$

3. Стационарная модель – поле, не зависящее от времени. Электрическое и магнитное поля удовлетворяют уравнению Лапласа:

$$\Delta\vec{H} = 0,\ \Delta\vec{E} = 0.$$

В приложениях чаще всего рассматривают гармонические поля, т.е. такие зависимость от времени которых описывается:

$$\vec{E}(x,y,z,t) = \vec{E}(x,y,z)e^{-i\omega t},$$

$$\vec{H}(x,y,z,t) = \vec{H}(x,y,z)e^{-i\omega t}.$$

Для сокращения записи обозначим $\vec{E}(x,y,z) = \vec{E}$. Телеграфные уравнения для гармонического поля приобретают вид:

$$\Delta\vec{E}e^{-i\omega t} - \frac{\mu\varepsilon\omega^2}{c^2}\vec{E}e^{-i\omega t} + \frac{4\pi\mu\gamma\omega}{c^2}\vec{E}e^{-i\omega t} = 0,\ \Delta\vec{E} - \frac{\mu\varepsilon\omega^2}{c^2}\vec{E} + \frac{4\pi\mu\gamma\omega}{c^2}\vec{E} = 0$$

После аналогичных преобразований для $\vec{H} = \vec{H}(x,y,z)$ получим уравнения Гельмгольца:

$$\Delta\vec{E} + k^2\vec{E} = 0,$$

$$\Delta\vec{H} + k^2\vec{H} = 0,$$

где $k = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon\mu + \frac{2\mu\gamma}{\nu}i} = \frac{\omega}{c}(n + i\beta)$ – комплексное волновое число среды – число волн, укладывающихся в отрезок 2π сантиметров. Решения уравнений Гельмгольца:

$$\vec{E} = \vec{E}_1e^{-ikz} + \vec{E}_2e^{ikz},\ \ \vec{H} = \vec{H}_1e^{-ikz} + \vec{H}_2e^{ikz}.$$

При γ=0 в идеальном диэлектрике β=0, волновое число становится вещественным. Если значение γ очень велико, поле будут определять токи проводимости. Если электропроводность мала или очень велика частота ω, то поле будет обусловлено токами смещения.

Величины, из которых складывается волновое число, называют:

коэффициентом преломления – $n = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{\varepsilon\mu}{2}\right)^2 + \left(\frac{\mu\gamma}{\nu}\right)^2} + \frac{\varepsilon\mu}{2}}$,

коэффициент поглощения – $\beta = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{\varepsilon\mu}{2}\right)^2 + \left(\frac{\mu\gamma}{\nu}\right)^2} - \frac{\varepsilon\mu}{2}}$.

Рассмотрим, как меняется с глубиной переменное поле в горизонтальной пластине толщиной *h*, ток в которой направлен по оси *0x*. Ось *0z* направим вниз (рис. 35). Считаем горизонтальные размеры пластины бесконечными, следовательно, *E* и *H* зависят только от координаты *z*. Получим волновые уравнения в виде:

$$\frac{\partial^2 E(z)}{\partial z^2} + k^2 E(z) = 0,\ \frac{\partial^2 H(z)}{\partial z^2} + k^2 H(z) = 0.$$

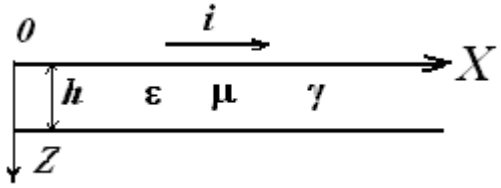


Рис. 35. Горизонтальная пластина

Решение этих уравнений может быть представлено в виде:

$$E(z) = A_1 e^{ikz} + B_1 e^{-ikz},\quad H(z) = A_2 e^{ikz} + B_2 e^{-ikz},$$

что можно проверить прямой подстановкой. Коэффициенты A_1, A_2, B_1, B_2 найдем с помощью граничных условий $E(0) = E(h)$, $H(0) = -H(h)$.

$$A_1 + B_1 = A_1 e^{ikh} + B_1 e^{-ikh},\quad A_2 + B_2 = -A_2 e^{ikh} + B_2 e^{-ikh}.$$

Исключим лишние константы из решения:

$$E = A_1\left(e^{-i(\omega t - kz)} + e^{-i(\omega t - k(h-z))}\right),\ H = A_2\left(e^{-i(\omega t - kz)} + e^{-i(\omega t - k(h-z))}\right).$$

Второе уравнение Максвелла $\text{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ в условиях задачи примет вид:

$$\frac{\partial E}{\partial z} = -\frac{\mu}{c}\frac{\partial H}{t},$$

что позволяет исключить из решения еще одну константу

$$A_2 = \frac{ck}{\omega\mu}A_1 = \frac{n+i\beta}{\mu}A_1 = A_1\frac{\sqrt{n^2+\beta^2}}{\mu}e^{i\varphi}, \text{ где } \varphi = \text{arctg}\frac{\beta}{n}.$$

В итоге после оставления вещественной части решения получим для пластины:

$$E(z,t) = A_1\left[e^{\frac{-\omega}{c}\beta z}\cos\omega(t-\frac{n}{c}z) + e^{-\frac{\omega}{c}\beta(h-z)}\cos(t-\frac{n}{c}(h-z))\right],$$

$$H(z,t) = A_1\frac{\sqrt{n^2+\beta^2}}{\mu}\left[e^{\frac{-\omega}{c}\beta z}\cos\omega(\omega t-\omega\frac{n}{c}z-\varphi) - e^{-\frac{\omega}{c}\beta(h-z)}\cos(\omega t-\omega\frac{n}{c}(h-z)-\varphi)\right].$$

Если рассматривать проводящее полупространство, то решение для него будет ($h\to\infty$):

$$E(z,t) = A_1 e^{-\frac{\omega}{c}\beta z}\cos(\omega t-\omega\frac{n}{c}z),$$

$$H(z,t) = A_1\frac{\sqrt{n^2+\beta^2}}{\mu}e^{-\frac{\omega}{c}\beta z}\cos(\omega t-\omega\frac{n}{c}z-\varphi).$$

Полученный результат приводит к выводу, что амплитуды электрического и магнитного полей убывают с глубиной по экспоненциальному закону. На глубине $z = \frac{c}{\omega\beta}$ они убывают в e раз. Эта глубина называется **глубиной проникновения поля, или скин-слоем**. Процессы, происходящие в микроволновой печи и при использовании сотовой связи, описываются уравнениями Максвелла. Схожий процесс происходит при разогревании продуктов в микроволновой печи.

Электромагнитным волнам присущи свойства:

- отражение, преломление, поглощение при падении на границу раздела сред (рис. 36);

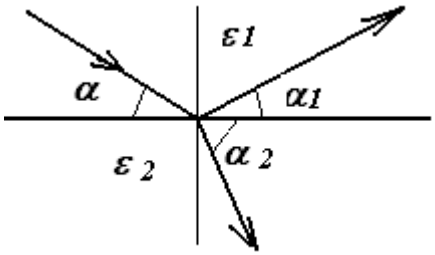


Рис. 36. Схема отражения и преломления плоской волны

- скорость распространения ЭМВ в однородной среде с диэлектрической проницаемостью ε и магнитной проницаемостью μ определяется по формуле $v = c/\sqrt{\varepsilon\mu}$ (закон Максвелла);

- интерференция, дифракция – огибание препятствий, дисперсия – зависимость параметров среды от частоты ЭМВ;

- ЭМВ – поперечные волны, колебания *E* и *B* происходят в плоскости перпендикулярной направлению скорости волны *v*, векторы *E* и *B* с направлением распространения волны образуют правовинтовую систему;

- ЭМВ переносят энергию, массу, но электрический заряд волной не переносится.

Для излучения интенсивных ЭМВ необходима достаточно высокая частота электрических колебаний и незамкнутая электрическая цепь, интенсивность электромагнитных волн, пропорциональная ускорению движущихся электрических зарядов или четвертой степени частоты колебаний ν^4.

Электромагнитные волны характеризуют длиной волны (λ) и частотой (ν), которые связаны между собой соотношением:

$$\lambda = cT = c/\nu,$$

где *T* – период колебаний.

Плоской волной называют волну, амплитуда которой зависит только от времени и одной из пространственных координат, направление которой совпадает с направлением распространения волны. У плоской волны в любой момент времени во всех точках любой плоскости, перпендикулярной

направлению распространения волны, векторы E и H имеют одинаковые значения.

Если на пути распространения плоских ЭМВ находится граница сред с разными свойствами, появляются отраженная и преломленная волны. Коэффициент отражения при падении плоской волны из вакуума на проводник

$$r = \frac{\left(\mu - \sqrt{\frac{\gamma\mu}{\nu}}\right)^2 + \frac{\gamma\mu}{\nu}}{\left(\mu + \sqrt{\frac{\gamma\mu}{\nu}}\right)^2 + \frac{\gamma\mu}{\nu}}.$$

При ν = 250 ГГц для меди коэффициент отражения равен 98.5 %. Это позволяет применять металлические поверхности в качестве экранов.

Для плоских волн, когда электромагнитное поле зависит только от одной координаты, уравнения поля:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - c\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = 0,\ \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} - c\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2 = 0}.$$

Решение этих уравнений:

$$E = E_1\left(t - \frac{z}{c}\right) + E_2\left(t + \frac{z}{c}\right),\ H = H_1\left(t - \frac{z}{c}\right) + H_2\left(t + \frac{z}{c}\right).$$

Если в момент времени t_0 поле E_1 принимает некоторое значение, то через время t на удалении ct оно примет то же значение. Решения E_1 и H_1 представляет собой плоскую волну, распространяющуюся со скоростью c в положительном направлении оси $0z$. Решения E_2 и H_2 представляет собой плоскую волну, распространяющуюся со скоростью c в противоположном направлении оси $0z$. Отношение амплитуд E и H от времени не зависит, т.е. векторы изменяются синхронно.

ЗАДАЧИ

1. Докажите, что функция $\frac{\exp i(\varpi t - kR)}{R}$ является решением волнового уравнения.

2. Вычислите коэффициент отражения от скалы при нормальном падении волны, если характеристики пород, слагающих скалу, $\varepsilon = 5$, $\mu = 1$, частота поля $\nu = 10^9$ Гц, $\gamma = 2 \cdot 10^6$ ед. СГСЭ.

3. Найдите составляющие магнитного поля плоской волны, если электрическое поле определено выражением

$$E = E\left(t - \frac{y\cos\beta + z\cos\gamma}{v}\right)$$

и направлено по оси *0*x. Воспользуйтесь вторым уравнением Максвелла).

4. Вычислите волновое число среды с $\varepsilon = \mu = 1$, $\gamma = 2 \cdot 10^5$ ед. СГСЭ при частоте поля 10^5 Гц.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Размеры и форма тел при приложении внешних сил могут изменяться. Свойство сопротивляемости изменению формы и размеров тел и возврата к прежнему состоянию после прекращения воздействия внешних сил называют упругостью. Если после снятия нагрузки происходит полное восстановление формы и размеров тела, то его называют идеально упругим. Деформация такого тела не зависит от времени действия нагрузки и предшествующего состояния. У идеально упругих тел деформация происходит без трения, ее величина очень мала, а затраченная энергия полностью переходит в накопленную в теле упругую энергию.

Горные породы верхней части земной коры при действии кратковременной нагрузки ведут себя как хрупкие и упругие тела. Об их высокой упругости свидетельствует способность горных пород передавать сейсмические волны. О хрупкости горных пород свидетельствуют повсеместно встречающиеся разломы разного порядка. Горные породы при приложении небольшой нагрузки можно считать идеально упругими. Их деформация полностью обратима, ее величина пропорциональна приложенной нагрузке. После снятия нагрузки деформация исчезает.

Результат механического воздействия на среду принято характеризовать смещением, напряжением и деформацией. При действии механических напряжений происходит смещение частиц среды. Смещение частицы можно характеризовать вектором $U(u_0, v_0, w_0)$. Если можно подобрать скалярную функцию такую что:

$$U = \operatorname{grad}\varphi = \vec{i}\,\frac{\partial\varphi}{\partial x} + \vec{j}\,\frac{\partial\varphi}{\partial y} + \vec{k}\,\frac{\partial\varphi}{\partial z},$$

то скалярную функцию называем потенциалом φ.

Выделим в среде площадку, ориентировку которой определим вектором n, перпендикулярным к среде. Действие силы dF, направленной соосно с нормалью к площадке, на площадку dS характеризуют вектором напряжения: $\vec{p}_n = \dfrac{d\vec{F}}{dS}$.

Ориентировка напряжения может отличаться от n, поэтому индекс указывает на ориентировку относительно площадки (рис. 37, а). Для трех взаимно перпендикулярных площадок для той же силы dF получим:

$$\vec{p}_x = \frac{d\vec{F}}{dS_{zy}},\ \vec{p}_y = \frac{d\vec{F}}{dS_{xz}},\ \vec{p}_z = \frac{d\vec{F}}{dS_{xy}}.$$

Эти векторы полностью характеризуют напряжение в рассматриваемой точке. Поскольку каждый их трех векторов имеет три компоненты, тензор напряжений запишем:

$$p = \begin{vmatrix} p_{xx} & p_{xy} & p_{xz} \\ p_{yx} & p_{yy} & p_{yz} \\ p_{zx} & p_{zy} & p_{zz} \end{vmatrix},$$

где первый индекс указывает на нормаль к площадке, а второй – на компоненту напряжения. Например, p_{xy} – компонента напряжения по оси x на площадке с нормалью по оси y. Величины p_{xx}, p_{yy}, p_{zz} называют нормальными напряжениями, p_{xy}, p_{xz}, p_{yx}, p_{yz}, p_{zx}, p_{zy} называют касательными напряжениями (тангенциальными). В любой точке деформируемой среды можно указать три взаимно перпендикулярных направления, таких, касательные напряжения к которым отсутствуют (равны 0). Эти направления называют главными направлениями, а напряжения – главными напряжениями. Если выбрать направления осей координат совпадающие с главными направлениями, тензор напряжений принимает вид:

$$p = \begin{vmatrix} p_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & p_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & p_{zz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} p_1 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 \end{vmatrix}.$$

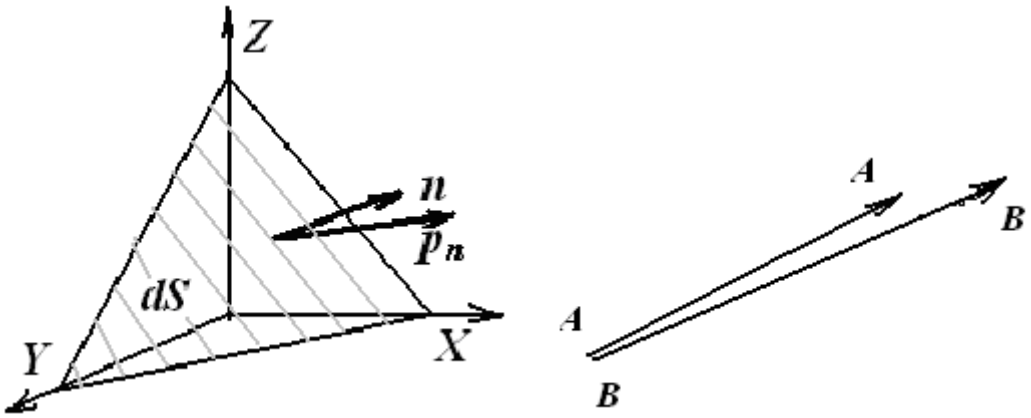
В этом выражении $p_1 \geq p_2 \geq p_3$. Напряжения служат количественной оценкой воздействия внешних сил на геологическую среду.

Пусть точка A сместилась в направлении координатных осей на u_0, v_0, w_0. Находящаяся вблизи точки A точка B сместится на расстояние (рис. 37, б) u_0+dx, v_0+dy, w_0+dz. Используя разложение смещения в ряд Тейлора, получим:

$$u = u_0 + \frac{\partial u}{\partial x}dx + \frac{\partial u}{\partial y}dy + \frac{\partial u}{\partial z}dz,$$

$$v = v_0 + \frac{\partial v}{\partial x}dx + \frac{\partial v}{\partial y}dy + \frac{\partial v}{\partial z}dz\,,$$

$$u = u_0 + \frac{\partial w}{\partial x}dx + \frac{\partial w}{\partial y}dy + \frac{\partial w}{\partial z}dz\,.$$



а б

Рис. 37. К определению вектора смещения (а), тензора напряжений (б)

Безразмерные производные в этих выражениях имеют смысл относительных смещений. Они являются мерой изменения формы и размеров тел под действием напряжений. Их называют составляющими тензора деформации:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{vmatrix}.$$

На диагонали в матрице находятся относительные растяжения, вне диагонали – относительные сдвиги. Тензоры деформации несимметричные.

Всегда в каждой точке можно выбрать три взаимно перпендикулярных направления, таких, что направленный отрезок при деформации сохраняет направление, а меняется только его величина. Такие направления и деформации называют главными. Сжатию соответствуют положительные главные деформации, растяжению отвечают отрицательные значения главных деформаций.

Смещение точек среды принято раскладывать на три составляющие: параллельный перенос, чистую деформацию и вращение. Принято разлагать тензор деформации на симметричную и несимметричную части. Вводятся обозначения:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x},\ \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y},\ \varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z},\ \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right),$$

$$\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right),\ \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right),$$

$$\omega_x = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right),\ \omega_y = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right),\ \omega_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right).$$

Тензор чистой деформации можно представить:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{vmatrix}.$$

Под действием внешних сил тело может испытывать кручение. Асимметричная часть тензора деформации

$$\begin{vmatrix} 0 & -\varpi_z & -\varpi_y \\ -\varpi_z & 0 & -\varpi_x \\ -\varpi_y & -\varpi_x & 0 \end{vmatrix}$$

Вектор кручения

$$\vec{w} = \operatorname{rot}\vec{U}.$$

Его компоненты:

$$w_x = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right),\ \ w_y = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right),\ \ w_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right).$$

Точки куба, находящиеся на главных направлениях, смещаются вдоль этих направлений. Сумма величин, стоящих на диагонали, не зависит от выбора системы координат, т. е. является инвариантом. Эту сумму называют дилатацией, она равна относительному изменению объема. Иначе дилатацию можно записать:

$$\theta = \mathrm{div}\vec{U} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}.$$

Если смещение имеет только радиальную составляющую, то в сферических координатах дилатация имеет вид:

$$\theta = \frac{2u}{r} + \frac{\partial u}{\partial r}.$$

Для малого объема однородной среды обобщенный закон Гука имеет вид:

$$p_{xx} = a_{11}\varepsilon_{xx} + a_{12}\varepsilon_{yy} + a_{13}\varepsilon_{zz} + 2a_{14}\varepsilon_{yz} + 2a_{15}\varepsilon_{zx} + 2a_{16}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{yy} = a_{21}\varepsilon_{xx} + a_{22}\varepsilon_{yy} + a_{23}\varepsilon_{zz} + 2a_{24}\varepsilon_{yz} + 2a_{25}\varepsilon_{zx} + 2a_{26}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{zz} = a_{31}\varepsilon_{xx} + a_{32}\varepsilon_{yy} + a_{33}\varepsilon_{zz} + 2a_{34}\varepsilon_{yz} + 2a_{35}\varepsilon_{zx} + 2a_{36}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{yz} = a_{41}\varepsilon_{xx} + a_{42}\varepsilon_{yy} + a_{43}\varepsilon_{zz} + 2a_{44}\varepsilon_{yz} + 2a_{45}\varepsilon_{zx} + 2a_{46}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{zx} = a_{51}\varepsilon xx + a_{52}\varepsilon_{yy} + a_{53}\varepsilon_{zz} + 2a_{54}\varepsilon_{yz} + 2a_{55}\varepsilon_{zx} + 2a_{56}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{xy} = a_{61}\varepsilon xx + a_{62}\varepsilon_{yy} + a_{63}\varepsilon_{zz} + 2a_{64}\varepsilon_{yz} + 2a_{65}\varepsilon_{zx} + 2a_{66}\varepsilon_{xy}.$$

Матрица коэффициентов a_{ij} антисимметричная, т.е. $a_{ij} = a_{ji}$. Коэффициенты a_{ij} называют модулями упругости. Например, для известняка a_{11} = 3500 Н/м^2.

Реакция среды на механические воздействия зависит от свойств среды. Упругие свойства среды мы будем рассматривать в рамках линейного закона Гука. Наиболее простое выражение закон имеет в изотропных средах, свойства которых не зависят от направления. Удлинение в этом случае пропорционально действующему напряжению:

$$l = l_0(1 + \alpha p),$$

где α – коэффициент линейного растяжения. Величину $E = 1/\alpha$ называют модулем Юнга, численно она равна напряжению, при котором удлинение равно первоначальной длине. Модуль Юнга характеризует сопротивление упругой среды действующей силе. Удлинение сопровождается изменением поперечных размеров. Это изменение

$$d = d_0(1 - \beta p)$$

характеризуют коэффициентом поперечного сжатия β. Используют коэффициент Пуассона $\sigma = \beta/\alpha$. Величину

$$E' = \frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)} E$$

называют модулем одностороннего сжатия безграничного слоя.

При действии касательных напряжений закон Гука имеет следующий вид:

$$\frac{\Delta l}{h} = \gamma p_t$$

где γ – коэффициент сдвига.

$$G = \frac{E}{2(1+\sigma)},$$

где $G = 1/\gamma$ – модуль сдвига.

Для характеристики напряженного состояния среды используют также угол $\psi = p_t / G$.

Напряженное состояние характеризуют константами Ламэ λ и μ. (Константу μ называют модулем сдвига). Они связаны с модулем Юнга, модулем всестороннего сжатия и коэффициентом Пуассона:

$$\lambda = \frac{E\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)},\ \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)},\ E = \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu},\ \sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)},\ K = \frac{E}{3(1-2\sigma)}.$$

Упругие константы не могут принимать произвольные значения. Справедливы ограничения: $\lambda > 0$, $\mu > 0$, $0 < \sigma < 0{,}5$, $E > 0$, $K > 0$.

УПРУГИЕ ВОЛНЫ

Рассмотрим задачу о передаче движений в упругой твердой среде. Выведем уравнение, описывающее движение частиц твердой упругой среды. Под действием внешних сил, приложенных к ограниченной части среды, например взрыва, частицы двигаются. В упругой среде частицы колеблются возле положения равновесия. Колебания передаются от одной частицы среды другой частице с некоторой скоростью. При этом надо учитывать объемные силы (массовые силы), в первую очередь силы инерции. Среду будем считать однородной и изотропной, т.е. упругие характеристики σ, E и другие постоянные величины.

Статическое равновесие в среде наступает при равенстве результирующей действия всех сил нулю и равенстве нулю результирующего момента сил:

$$f_x + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} = 0,$$

$$f_y + \frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z} = 0,$$

$$f_z + \frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} = 0.$$

Определим деформацию сплошного шара от взаимного притяжения его частиц.

Примем радиус шара равным a. На каждую точку шара действует сила $F = -\frac{\rho g r}{a}$, направленная радиально. Уравнение равновесия примет вид:

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{du_r}{dr} + \frac{2u_r}{r}\right) - \frac{\rho g r}{a(\lambda + 2\mu)} = 0.$$

Общее решение данного уравнения $u_r = Cr$. Частное решение возьмем в виде $u_r = C_0 r^3$. Подставляя частное решение в уравнение равновесия, определим константу:

$$C_0 = \frac{\rho g}{10a(\lambda + 2\mu)}.$$

На свободной внешней поверхности шара напряжения равны нулю. В итоге решение примет вид:

$$u_r = -\frac{1}{10}\frac{\rho g a r}{\lambda + 2\mu}\left(\frac{5\lambda + 6\mu}{3\lambda + 2\mu} - \frac{r^2}{a^2}\right).$$

Внутри сферы радиуса $r = a\sqrt{\frac{5\lambda + 6\mu}{9\lambda + 6\mu}}$ деформация представляет собой укорочение, а вне этой сферы деформация – удлинение.

В цилиндрических координатах уравнения равновесия имеют вид:

$$\frac{\partial R_r}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial R_\beta}{\partial \beta} + \frac{\partial R_z}{\partial z} + \frac{R_r - R_\beta}{r} + R = 0,$$

$$\frac{\partial B_r}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial B_\beta}{\partial \beta}+\frac{\partial B_z}{\partial z}+\frac{2B_r}{r}+B=0,$$

$$\frac{\partial Z_r}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial Z_\beta}{\partial \beta}+\frac{\partial Z_z}{\partial z}+\frac{Z_r}{r}+Z=0.$$

Уравнения равновесия в сферических координатах:

$$\frac{\partial R_r}{\partial r}+\frac{1}{r\sin\alpha}\frac{\partial R_\beta}{\partial \beta}+\frac{1}{r}\frac{\partial R_\alpha}{\partial \alpha}+\frac{2R_r-B_\beta-A_\alpha+R_\alpha \operatorname{ctg}\alpha}{r}+R=0,$$

$$\frac{\partial B_r}{\partial r}+\frac{1}{r\sin\alpha}\frac{\partial B_\beta}{\partial \beta}+\frac{1}{r}\frac{\partial B_\alpha}{\partial \alpha}+\frac{B_\alpha(3+2\operatorname{ctg}\alpha)}{r}+B=0,$$

$$\frac{\partial A_r}{\partial r}+\frac{1}{r\sin\alpha}\frac{\partial A_\beta}{\partial \beta}+\frac{1}{r}\frac{\partial A_\alpha}{\partial \alpha}+\frac{(R_r-B_\beta)\operatorname{ctg}\alpha-3A_r}{r}+A=0.$$

Уравнение равновесия в декартовых координатах можно переписать в виде:

$$f_x+\operatorname{div}\vec{p}_x=0,$$

$$f_y+\operatorname{div}\vec{p}_y=0,$$

$$f_z+\operatorname{div}\vec{p}_z=0.$$

Если к этим уравнениям добавить силы инерции, получим даламберовские условия динамического равновесия:

$$f_x+\operatorname{div}\vec{p}_x-\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=0,$$

$$f_y+\operatorname{div}\vec{p}_y-\rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}=0,$$

$$f_z+\operatorname{div}\vec{p}_z-\rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}=0.$$

Плотность среды связана с константами Ламэ и со скоростями распространения продольной и поперечной упругих волн в ней:

$$v_p^2=\frac{\lambda+2\mu}{\rho},\ v_s^2=\frac{\mu}{\rho}.$$

Продольная волна – это поступательное движение частиц среды в направлении распространения колебаний. При распространении продольной волны происходит изменение элементарных объемов среды. Поперечная волна –

это малые вращения частиц среды в плоскости ортогональной направлению распространения колебаний. При этом происходит изменение формы элементарных объемов без изменения объема. Относительные изменения формы и объема горных пород при проведении сейсморазведки не превышает 0,0001.

Выполним преобразования:

$$\operatorname{div} \vec{p}_x = \operatorname{div}(\vec{i} p_{xx} + \vec{j} p_{xy} + \vec{k} p_{xz}) = \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z}.$$

Для записи закона Гука в изотропной среде достаточно только констант Ламэ:

$$p_{xx} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{xx}, \quad p_{yy} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{yy}, \quad p_{zz} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{zz},$$

$$p_{xy} = 2\mu\varepsilon_{xy}, \; p_{yz} = 2\mu\varepsilon_{yz}, \quad p_{zx} = 2\mu\varepsilon_{zx}.$$

Динамические уравнения движения и равновесия имеют вид:

$$f_x + (\lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial x} + \mu\Delta u - \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0,$$

$$f_y + (\lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial y} + \mu\Delta v - \rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0,$$

$$f_z + (\lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mu\Delta w - \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0.$$

В однородной и изотропной среде возможно раздельное рассмотрение механических перемещений частиц в виде продольных и поперечных волн. В такой среде вектор смещений можно представить в виде суммы вихревой и потенциальной части. Будем считать среду изотропной, т.е. ее можно охарактеризовать двумя упругими модулями Ламэ, а векторы силы $F(f_x, f_y, f_z)$ и смещений $U(u, v, w)$ имеет две составляющие – потенциальную и вихревую:

$$F = F_1 + F_2, \quad U = U_1 + U_2.$$

Исходя из условия составления суммы векторов $\operatorname{div}\vec{U}_2 = 0$, $\operatorname{rot}\vec{U}_1 = 0$.Уравнение движения и равновесия для суммы потенциальной и вихревой части получим:

$$(\lambda + \mu)\operatorname{graddiv}(\vec{U}_1 + \vec{U}_2) + \mu\Delta(\vec{U}_1 + \vec{U}_2) - \rho\frac{\partial}{\partial t}(\vec{U}_1 + \vec{U}_2) + (\vec{F}_1 + \vec{F}_2) = 0.$$

Поскольку $\Delta\vec{A} = \text{grad div}\,\vec{A} - \text{rot rot}\,\vec{A}$, то после переноса слагаемых, относящихся к разным векторам в разные части уравнения

$$\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}\Delta\vec{U}_1 - \frac{\partial^2\vec{U}_1}{\partial t^2} + \frac{1}{\rho}\vec{F}_1 = -\frac{\mu}{\rho}\Delta\vec{U}_2 - \frac{\partial^2\vec{U}_2}{\partial t^2} + \frac{1}{\rho}\vec{F}_2 .$$

Для выполнения равенства достаточно, чтобы правая и левая части уравнения были равны 0, тогда с учетом связи констант Ламэ со скоростями распространения волн получим:

$$\Delta\vec{U}_1 - \frac{1}{v_p^2}\frac{\partial^2\vec{U}_1}{\partial t^2} = -\frac{1}{\rho v_p^2}\vec{F}_1,$$

$$\Delta\vec{U}_2 - \frac{1}{v_s^2}\frac{\partial^2\vec{U}_2}{\partial t^2} = -\frac{1}{\rho v_s^2}\vec{F}_2 .$$

Пусть вектор смещения направлен вдоль одной из пространственных координат, а его величина зависит только от времени и той же пространственной координаты, например $\vec{U} = u(x,t)\vec{i}$. В этом случае $\theta = \frac{\partial u}{\partial x}$.

Уравнение движения

$$(\lambda + \mu))\frac{\partial}{\partial x}\text{div}\,\vec{U} + \mu\Delta u + f_x = \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

в отсутствии объемных сил примет вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{v_p^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 .$$

Общее решение этого уравнения:

$$u = u_1\left(t - \frac{x}{v_p}\right) + u_2\left(t + \frac{x}{v_p}\right),$$

где u_1 и u_2 – произвольные дважды дифференцируемые функции. Первое слагаемое представляет собой плоскую продольную волну, распространяющуюся в положительном направлении *0x*, а второе – продольную волну, распространяющуюся в отрицательном направлении *0x*.

Если вектор смещения зависит от переменной x, а смещение направлено вдоль оси $0y$, т.е. $\vec{U} = u(x,t)\vec{j}$, при отсутствии объемных сил уравнение движения примет вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{v_s^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0.$$

Решение в этом случае представляет собой плоские поперечные волны. Для смещения, меняющегося по гармоническому закону, для плоской волны получим:

$$u = u_0 \cos\left[\varpi\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0\right],$$

где φ_0 – начальная фаза, ω – круговая частота, v – скорость, отвечающая типу волны (v_p или v_s), u_0 – амплитуда.

В сейсморазведке упругие колебания возбуждают взрывными источниками. Обычно на расстоянии несколько десятков метров можно считать такой источник сферическим излучателем. Радиальное давление

$$p_{rr} = \lambda\theta + 2\mu\frac{\partial u}{\partial r} = (\lambda + 2\mu)\frac{\partial u}{\partial r} + 2\frac{\lambda u}{r}.$$

Будем считать, что сферический излучатель возбуждает гармонические колебания. В идеальном случае смещения точек будут иметь только радиальную составляющую. Тогда на удалении $r = r_0$:

$$P_0 e^{i\varpi t} = \left[(\lambda + 2\mu)\frac{\partial u}{\partial r} + 2\frac{\lambda u}{r}\right]\Big|_{r=r_0}.$$

Скалярный потенциал:

$$u = \frac{\partial\varphi}{\partial r}, \quad \varphi = A\frac{e^{-i\varpi(t - r/V_p)}}{r}.$$

Используя граничные условия, можно определить смещение и скалярный потенциал:

$$\varphi = -\frac{P_0 r_0}{r\rho B} e^{i\omega\left(t - \frac{r - r_0}{V_p}\right)}, \; u = \frac{P_0 r_0}{r\rho B}\left(\frac{1}{r} + \frac{i\omega}{V_p}\right) e^{i\omega(t - (r - r_0)/V_p)},$$

где $B = \frac{4V_S^2}{r_0} + \frac{4i\omega}{r_0 V_p} V_S^2 - \omega^2$.

Первое слагаемое убывает значительно медленнее, чем второе слагаемое. Поэтому на удалении от источника смещение характеризуют первым слагаемым:

$$u = u_0 \frac{e^{i\omega(t-(r-r_0)/V_p)}}{r}.$$

Распространение упругих колебаний в среде сопровождается переносом энергии. Плотность потока переносимой энергии определяется вектором Умова:

$$\left|\vec{P}\right| = \frac{1}{2}\rho V_p \varpi^2 A^2,$$

где V_p – скорость продольных волн, ρ – плотность среды, ω – циклическая частота, A – амплитуда колебаний.

ЗАДАЧА

Определить смещения и напряжения в замкнутой сферической оболочке, нагруженной снаружи равномерно распределенным давлением p_e ($r = a$) и равномерно распределенным давлением изнутри p_i ($r = b$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Альпин Л. М., Даев Д. С., Каринский А. Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике. М.: Недра, 1985. 407 с.

Бицадзе А. В. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1982. 336 с.

Кауфман А. А. Введение в теорию геофизических методов. Ч. 1. Гравитационные, электрические и магнитные поля. М.: Недра, 1997. 520 с.

Кондратьев Б. П. Теория потенциала. Новые методы и задачи с решениями. М.: Мир, 2007. 512 с.

Кормильцев В. В., Ратушняк А. Н. Моделирование геофизических полей при помощи объемных векторных интегральных уравнений. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 98 с.

Кудрявцев Ю. И. Теория поля и ее применение в геофизике. Л.: Недра, 1988. 335 с.

Кутас Р. И., Цвященко В. А., Корчагин И. Н. Моделирование теплового поля континентальной литосферы. Киев: Наукова думка, 1989. 192 с.

Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. (Серия : Теоретическая физика. Т. VIII.) М.: Наука, 1982. 352 с.

Муратов Р. З. Потенциалы эллипсоида. М.: Атомиздат, 1976. 144 с.

Овчинников И. К. Теория поля. М.: Недра, 1979. 352 с.

Овчинников И. К. Электроразведка рудных объектов под верхним слоем земной коры. М.: Недра, 1975. 88 с.

Петровский И. Г. Лекции по теории интегральных уравнений. М.: Изд-во. МГУ, 1984. 136 с.

Рид М., Саймон Б., Методы современной математической физики. Т. 3. Теория рассеяния. М.: Мир, 1982. 443 с.

Саваренский Е. Ф. Сейсмические волны. М.: Недра, 1972. 296 с.

Сапожников В. М., Шевченко В. Г. Теория и методика электроразведки в градиентных средах. Л.: Недра, 1992. 135 с.

Серкеров С. А. Теория гравитационного и магнитного потенциалов. М.: Недра, 1990. 304 с.

Смирнов А. А. Введение в теорию электромагнитного поля. М.: Недра, 1975. 136 с.

*Соболев С. А.*Уравнения математической физики. М.: Наука, 1966. 444 с.

Тамм И. Е. Основы электричества. Изд-е 8. М.: Наука, 1966. 624 с.

Тимошенко С. П. Курс теории упругости. Киев: Наукова думка, 1972. 506 с.

Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 736 с.

Халилеев П. А. Основные понятия электродинамики сплошных сред. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. 230 с.

Филатов В. В. Начала теории упругости и теории упругих волн. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 102 с.

Череменский Г. А. Прикладная геотермия. Л.: Недра, 1977. 224 с.

Череменский Г. А. Геотермия. Л.: Недра, 1972. 272 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой
геофизики
«01» сентября 2022 г.

_____
проф., А.Г. Талалай

Редозубов А.А., Петряев В.Е.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПО ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки», специализации №1 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»

Екатеринбург, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 4
2. Структура и содержание курсового проекта 5
2.1. Общая структура курсового проекта..... 5
2.2. Содержание курсового проекта 6
2.2.1. Введение..... 6
2.2.2. Геологическое строение района работ 7
2.2.3. Физические и геологические предпосылки
для постановки электроразведки 9
2.2.4. Методика и техника проектируемых работ..... 13
2.2.5. Заключение..... 16
3. Основные требования к оформлению курсового проекта 16
Список литературы..... 19
Приложение 1. Образец оформления титульного листа 21
Приложение 2. Темы курсового проекта……..……...22

1.**ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

В подготовке специалистов-геофизиков, способных успешно решать задачи, возникающие в процессе производственной деятельности, важную роль играет курсовое проектирование по дисциплинам специальности, которое позволяет максимально приблизить студента к составлению документации, требуемой на стадии проектирования геофизических работ. При курсовом проектировании по электроразведке студенты систематизируют и углубляют свои знания по дисциплине и получают навыки их применения для решения конкретных задач. Работая над курсовым проектом, студенты также совершенствуют навыки работы со специальной литературой, поиска необходимых библиографических источников, навыки работы с вычислительной техникой и т. д.

Типовым заданием для курсового проекта является составление геолого-методической части проекта электроразведочных работ для решения конкретной геологической задачи в конкретной геологической обстановке. Такой задачей могут быть поиски или разведка месторождений полезных ископаемых, геологическое картирование, инженерно-геологические изыскания и т. п. В задании студенту указывается район и ставится геологическая задача, для решения которой необходимо разработать проект электроразведочных работ заданным методом или выбрать модификацию заданного метода. В задании также указываются один-два литературных источника, в которых можно найти первоначальные сведения о геологическом строении района работ и электрических свойствах слагающих его горных пород. Другие необходимые сведения и содержащие их литературные источники студенту предлагается разыскать самостоятельно, используя справочные библиографические материалы или интернет-ресурсы.

Вместо типового курсового проекта отдельным, как правило, хорошо успевающим, студентам может быть выдано задание на выполнение курсовой работы исследовательского характера. Впоследствии такая курсовая работа при

последующем ее развитии может послужить основой выпускной квалификационной работы. Структура курсовой работы исследовательского характера определяется руководителем.

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

2.1. Общая структура курсового проекта

В курсовом проекте должно быть сформулировано геологическое задание, дана краткая географическая характеристика района работ, описано его геологическое строение и проанализированы физико-геологические предпосылки для постановки электроразведки. На основании этих материалов обосновывается целесообразность применения выбранного метода электроразведки для решения поставленной задачи, выбирается и обосновывается методика работ.

Пояснительная записка (текстовая часть проекта) по объему не должна превышать 25-30 страниц рукописного или 20-25 страниц машинописного текста. Пояснительная записка иллюстрируется рисунками в тексте, таблицами, расчетами и т. п. Текст курсового проекта делится на разделы (главы), которые при необходимости подразделяются на подразделы (параграфы). Разбивка на подразделы производится студентом по своему усмотрению. Все разделы курсового проекта должны быть органически связаны между собой. Изложение материала должно быть четким, ясным и по возможности кратким. Выдвигаемые положения и выводы должны подтверждаться расчетами, таблицами, графиками, ссылками на литературу. Структура курсового проекта приведена ниже. По согласованию с руководителем в эту структуру могут быть внесены изменения. Если вместо типового курсового проекта выполняется курсовая работа исследовательского характера, ее структура зависит от темы и разрабатывается совместно студентом и руководителем.

Типовой курсовой проект состоит из следующих разделов (глав):

ВВЕДЕНИЕ

1. Геологическое строение района работ

2. Физические и геологические предпосылки для постановки электроразведки

3. Методика и техника проектируемых работ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2.2. Содержание курсового проекта

2.2.1 ВВЕДЕНИЕ

Во введении должна быть четко сформулирована геологическая задача, для решения которой проектируются электроразведочные работы. Указывается стадия геологоразведочных работ, к которой эти работы следует отнести.

Приводятся сведения о районе, характеризующие условия проведения электроразведочных работ. Указывается географическое положение и административная принадлежность района, характеризуется рельеф, климат, растительность. Приводятся сведения о населении и его занятиях, основных населенных пунктах, промышленности и путях сообщения. Приведенные сведения должны давать представление о продолжительности полевого периода, возможности найма рабочей силы на месте проведения работ, условиях базирования и снабжения партии, возможности применения транспортных средств, степени промышленного развития района (необходимого для определения уровня помех в главе «Методика и техника проектируемых работ»). Соответствующими выводами необходимо завершить данный раздел.

Текст следует иллюстрировать обзорной картой с указанием на ней участка проектируемых работ. Обзорную карту можно сделать в виде

выкопировки из географической карты достаточно крупного масштаба, например, карты соответствующей области.

Для составления общей характеристики района следует воспользоваться литературными источниками – энциклопедией, учебником географии, географическим атласом, а также интернет-ресурсами.

2.2.2.Геологическое строение района работ

Описание геологического строения следует начинать с определения положения района работ по отношению к региональным геологическим структурам и очень краткой общей геологической характеристики, которая детализируется в последующих частях раздела.

Стратиграфическая колонка в рудном районе описывается кратко: приводится литологический состав стратиграфических горизонтов, их мощности и распространение. Отмечаются несогласия в залегании стратиграфических комплексов, фациальные изменения и т.п. Следует обратить внимание на стратиграфическую приуроченность полезных ископаемых. Если есть возможность, надо привести обобщенные сведения об электрических свойствах горных пород, слагающих стратиграфические горизонты. Если же полезное ископаемое приурочено к осадочным горным породам, стратиграфии следует уделить большее внимание.

При характеристике магматизма указываются его фазы и характерные для них комплексы пород. Приводятся сведения о форме, размерах и элементах залегания магматических тел. Важным моментом является связь полезных ископаемых с магматическими комплексами, если таковая имеется.

При описании тектоники необходимо привести общую тектоническую схему района и охарактеризовать наиболее крупные структурные элементы. Затем следует перейти к описанию других пликативных структур и дизъюнктивных нарушений, рассмотреть их размеры, элементы залегания и возрастные

взаимоотношения. Если установлен тектонический контроль месторождений полезных ископаемых, следует привести соответствующие сведения.

Серьезное внимание следует уделить вопросу метаморфизма, т. к. на электрические свойства горных пород большое влияние оказывает характер и степень метаморфических изменений. Необходимо рассмотреть пространственное распространение измененных пород, связь метаморфизма с магматической и тектонической деятельностью. Следует обратить внимание на связь с метаморфизмом полезных ископаемых.

Важнейшей частью геологического очерка является характеристика месторождений полезных ископаемых, для поисков которых проектируются электроразведочные работы. Необходимо привести сведения об известных месторождениях и рудопроявлениях, указать их пространственное расположение, стратиграфический, литологический и структурный контроль, связь с метаморфизмом, генетический тип. При этом подробно рассматриваются рудоконтролирующие структуры, состав и степень метаморфизма вмещающих пород, наличие и характер околорудных изменений, форма, размеры, глубина и элементы залегания, вещественный состав залежей полезных ископаемых. Приводятся сведения о слое рыхлых отложений и коре выветривания, о гипергенных изменениях.

Если на территории района нет известных месторождений, а имеются лишь геологические предпосылки для их обнаружения, следует воспользоваться методом аналогий и рассмотреть какое-либо месторождение соответствующего генетического типа из другого района, имеющее сходное геологическое строение.

Текст геологического очерка иллюстрируется геологическими картами и разрезами района и месторождения.

Геологическое описание района проектируемых работ составляется по литературным источникам. В некоторых случаях дополнительные материалы могут быть предоставлены руководителем.

2.2.3. Физические и геологические предпосылки для постановки электроразведки

Целью этой главы является анализ физико-геологических условий для постановки проектируемых работ при решении поставленных геологических задач, для чего необходимо проанализировать электрические свойства горных пород и полезных ископаемых. Наиболее важными из них являются удельное электрическое сопротивление и поляризуемость, а также способность геологических объектов создавать естественные электрические поля. В высокочастотных методах на распределение изучаемого поля может оказывать заметное влияние диэлектрическая проницаемость среды. Для индуктивных методов имеет значение магнитная проницаемость, если она достаточно велика (магнитная восприимчивость достигает десятых долей единицы СИ и более). Рассматривая электрические свойства горных пород, надо обращать внимание на их изменение в зонах тектонических нарушений, под воздействием различных процессов метаморфизма, гипергенных факторов и т. д. Эти изменения нередко оказываются даже более существенными, чем дифференциация различных типов пород и могут иметь определяющее значение для применения электроразведки. Описание электрических свойств горных пород следует сопровождать фактическим материалом в виде таблиц, гистограмм или вариационных кривых.

Наряду с информацией об электрических свойствах горных пород для применения электроразведки важно учитывать форму, размеры и условия залегания геологических объектов. Рассматривая эти вопросы, следует обратить внимание на связь объектов изучения со структурными элементами, типами горных пород, отличающимися по физическим свойствам (тектонические зоны, области проявления метаморфизма и т. д.), на изменение электрических свойств в околорудном ореоле, особенно в надрудной зоне. Может оказаться, что при применении электроразведки целесообразнее ориентироваться не на непосредственное выявление залежи полезного

ископаемого, а на обнаружение и оконтуривание рудоконтролирующих элементов или геоэлектрических ореолов.

При анализе физико-геологических предпосылок необходимо рассмотреть возможные искажения изучаемых электромагнитных полей различными геоэлектрическими помехами. К ним относится неравномерная мощность и изменчивое удельное сопротивление рыхлых отложений, неоднородность вмещающих пород по сопротивлению и поляризуемости и т. д. Электропроводный слой рыхлых отложений, даже если его параметры выдержаны, оказывает экранирующее влияние на электрическое поле, приводящее к уменьшению интенсивности аномалий от объектов исследования. Этому вопросу следует уделить самое серьезное внимание и ввести соответствующие поправки в расчеты.

На основе анализа геологического строения объекта и его физических свойств формируется физико-геологическая модель (ФГМ). При ее построении форма геологических тел, отличающихся по электрическим свойствам, должна быть как можно более простой, допускающей решение прямой задачи имеющимися средствами, и в то же время возможно лучше отражающей реальную обстановку.

Рассмотрим построение физико-геологической модели на примере колчеданного месторождения. Участок работ сложен породами эффузивного комплекса, имеющими удельное электрическое сопротивление порядка 2000 Ом·м и поляризуемость около 2 %. Оруденение приурочено к мощным, до 300 м и более крутопадающим зонам гидротермально измененных пород хлорит-серицит-кварцевого состава. Метасоматиты имеют несколько пониженное по сравнению с эффузивами удельное электрическое сопротивление (500-1000 Ом·м), поляризуемость же их повышена за счет рассеянной вкрапленности рудных минералов. Вблизи оруденения содержание рудных вкрапленников достигает 7-8 %, что приводит к повышению поляризуемости рудовмещающих метасоматитов до 15-20 %. Рудные залежи, сложенные массивным колчеданом, имеют грубо изометричную форму с

поперечником 100-200 м. Глубина до верхней кромки залежей составляет обычно 100-200 м, но может колебаться в зависимости от уровня эрозионного среза. Удельное сопротивление массивных руд 0,05-0,5 Ом·м, коэффициент поверхностной вызванной поляризации λ=0,6 м. Коренные породы перекрыты слоем рыхлых отложений мощностью 30-50 м с удельным электрическим сопротивлением в среднем 50 Ом·м. Схематический геологический разрез описанного объекта приведен на рис. 1, *а*.

Если поставлена геологическая задача непосредственного выявления рудной залежи, в данных условиях можно применить метод переходных процессов, которым такое тело может быть выявлено при глубине до его центра до 400 м. Так как форма залежи в первом приближении изометрична, ее можно аппроксимировать шаром, а в качестве физико-геологической модели принять шар в однородном полупространстве, перекрытом слоем рыхлых отложений.

При решении задачи выявления и оконтуривания минерализованных метасоматитов, вмещающих залежи массивных руд, можно применить метод вызванной поляризации, т. к. метасоматиты обладают повышенной поляризуемостью по сравнению с вмещающими эффузивами из-за рассеянной вкрапленности рудных минералов. Физико-геологическая модель будет представлять собой наклонный пласт, перекрытый горизонтальным слоем рыхлых отложений низкого сопротивления (рис. 1, *б*).

Чтобы оценить вид и интенсивность аномалий, которые могут быть получены над объектом поисков, выполняется решение прямой задачи для построенной физико-геологической модели. Расчеты показывают, что над пластом рудовмещающих хлорит-серицит-кварцевых пород интенсивность аномалии $\eta_к$ достигает 3 % (см. рис. 1, *б*). Таким образом, поставленная задача выявления потенциально рудоносных зон метасоматитов может быть успешно решена методом вызванной поляризации. При решении прямой задачи полезно рассчитать и сравнить аномалии при изменении параметров модели в возможных для данных геологических условий пределах.

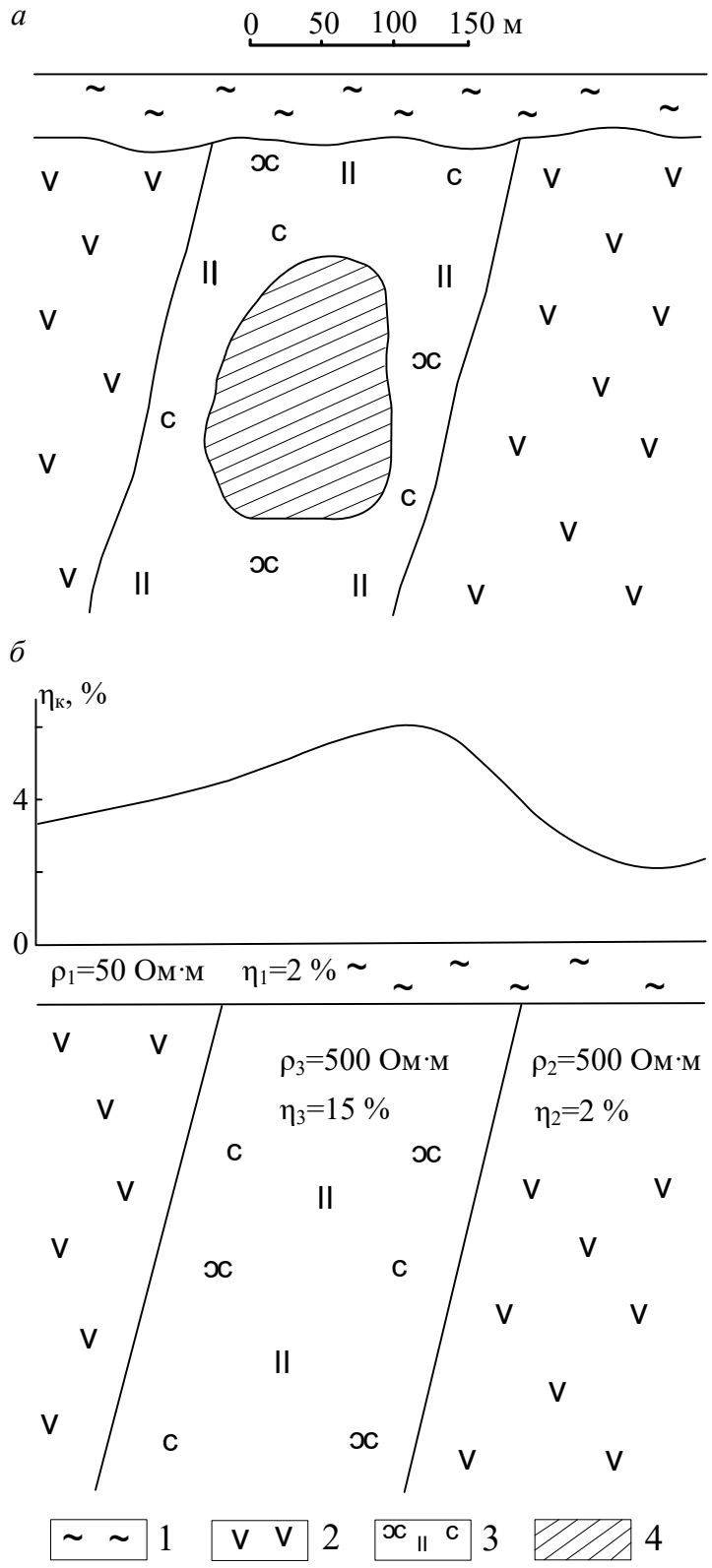


Рис. 1. Пример построения физико-геологической модели: *а* – схематический геологический разрез; *б* – физико-геологическая модель и график $\eta_к$.

1 – рыхлые отложения; 2 – эффузивные породы; 3 – хлорит-серицит-кварцевые породы; 4 – массивные колчеданные руды

Если в районе проектируемых работ развиты геологические образования, которые не представляют интереса, но могут создавать аномалии, подобные аномалиям от объектов поисков, нужно для них также построить физико-геологическую модель и, решив для этой модели прямую задачу, следует сопоставить аномалии от геоэлектрических помех с аномалией от объекта поисков.

Следует оценить степень влияния геоэлектрических помех и возможность разделения аномалий, вызванных геоэлектрическими помехами и объектами поисков. При анализе возможности применения электроразведки для решения поставленных задач следует также использовать сведения о результатах ранее проведенных работ, если таковые имеются.

В конце главы надо сделать выводы о том, насколько эффективен проектируемый метод для решения поставленных геологических задач и каков будет характер аномалий.

При составлении главы следует пользоваться литературными источниками или другими материалами, доступными автору. Если необходимые сведения о районе проектируемых работ отсутствуют, можно воспользоваться материалами по другому району с аналогичным геологическим строением и геоэлектрической обстановкой. В крайнем случае, для характеристики электрических свойств пород можно воспользоваться обобщенными данными из справочника геофизика [11].

2.2.4. Методика и техника проектируемых работ

В данной главе на основе данных о геологической обстановке и физико-геологических условиях применения электроразведки, рассмотренных в предыдущих разделах, обосновывается выбор проектируемого метода электроразведки. Для этого нужно использовать результаты решения прямой задачи, а также имеющиеся данные о ранее проведенных в районе геофизических исследованиях. При этом следует дать оценку предельной

глубины, на которой может быть обнаружен выбранным методом объект поисков. Такая оценка может быть сделана путем решения прямой задачи для объектов, залегающих на различной глубине или по имеющимся в литературе формулам.

Необходимо обосновать сеть наблюдений и определить соответствующий ему масштаб съемки. Если масштаб съемки задан, сеть наблюдений выбирается соответствующей этому масштабу. Связь между масштабом съемки и сетью наблюдений определяется инструкцией по электроразведке [2]. При выборе сети руководствуются обычными требованиями, чтобы аномалия выделялась не менее, чем на двух профилях, а на профиле в пределах аномалии располагалось не менее двух-трех точек. Для определения шага наблюдений по профилю следует воспользоваться результирующим графиком изучаемого параметра, полученным в результате решения прямой задачи, в который были внесены все поправки: за угол наклона пласта и за экранирующее влияние проводящего слоя рыхлых отложений. Затем оценивается пороговое значение аномалии, т. е. минимальная интенсивность аномалии, при которой она может быть уверенно выделена, и определяется ширина аномалии на этом уровне. В качестве порогового уровня обычно принимается удвоенное фоновое значение. Расстояние между профилями можно определить, исходя из ожидаемой длины объекта по простиранию (длина аномалии обычно несколько больше длины объекта). Определяя сеть наблюдений, исходя из размеров объекта, необходимо соблюдать соответствие расстояния между профилями и шага наблюдений одному из общепринятых масштабов. Для этого в случае необходимости найденное расстояние между профилями или между точками на профиле изменяется в меньшую сторону.

Размер установки (разнос питающих электродов, размер петли) выбирается таким, чтобы аномалия от объекта поисков имела максимально возможную интенсивность, но в то же время он не должен быть непомерно большим, чтобы не осложнять проведение полевых работ. При зондировании максимальный разнос электродов AB берется таким, чтобы в нижней своей

части кривая выходила на значение удельного сопротивления опорного горизонта. Разнос приемных электродов согласовывается с разносом питающих электродов и шагом наблюдений. При электропрофилировании разнос между приемными электродами обычно соответствует шагу наблюдений. В индуктивных методах размер установки выбирается таким, чтобы он обеспечивал обнаружение объекта на максимально возможной глубине. Из этих же соображений выбирается рабочая частота. При частотных зондированиях диапазон частот должен обеспечивать изучение разреза в нужном интервале глубин, а размер установки выбирается в зависимости от глубины до опорного горизонта.

Если проектируется кондуктивный метод, то при расчете методики работ следует воспользоваться задачей «Выбор генераторной установки» [7]. Для выбора источника тока необходимо рассчитать силу тока в питающей линии, обеспечивающую уверенные измерения при ожидаемом уровне помех. Исходя из полученных результатов, принимают решение о наиболее целесообразном типе источника тока. Выбирается измерительная аппаратура, обеспечивающая надежные измерения в условиях участка проектируемых работ. При выборе аппаратуры, как правило, следует ориентироваться на ее серийные типы. Необходимо учитывать вес и габариты аппаратуры, способ ее транспортировки, соотнося их с условиями района работ. Обосновывается выбор типов проводов для питающих и приемных линий, конструкция токовых и приемных заземлений, генераторных и измерительных контуров. Указывается методика контроля качества работ и проектная точность измерений, а также порядок камеральной обработки измерений, методика интерпретации и форма представления результатов работ. Описывается и изображается графически схема отработки площади. При этом следует рассчитать рабочий участок питающей линии и, например, если проектируется метод вызванной поляризации в модификации срединного градиента (ВП-СГ), определить максимально допустимое расстояние от питающей линии до боковых профилей.

При составлении этой главы следует пользоваться инструкцией по электроразведке [2], справочником геофизика [12], а также монографиями и статьями, посвященными проектируемым методам.

2.2.5. Заключение

В заключении отмечается, что удалось сделать при выполнении курсового проекта, какие знания применил студент и какие навыки развил при решении конкретных геологических задач методами электроразведки.

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Текст пояснительной записки к курсовому проекту должен быть написан или напечатан на компьютере на листах стандартного (А4) формата. Разделы (главы) нумеруются арабскими цифрами с точкой. Название раздела пишется прописными буквами и располагается на листе симметрично по центру страницы. Переносы слов в заголовках разделов не допускаются. Подразделы (параграфы) должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенных точкой. Заголовок подраздела пишется строчными буквами за исключением первой прописной. Он начинается с абзаца, а если занимает несколько строк, то вторая и последующая строки начинаются, как обычные строки текста. От текста заголовки подразделов отделяются интервалами.

Текст должен быть написан на одной стороне листа разборчивым почерком. Высота строчных букв должна быть не менее 2,5 мм. Расстояние между основаниями строк 6-8 мм. Для машинописного текста должен использоваться текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman, кегль 14,

междустрочный интервал полуторный. На листе оставляют поля: слева 25 мм, справа 10 мм, сверху и снизу по 15 мм.

Номер страницы ставится снизу или сверху листа в середине строки. Нумерация начинается с титульного листа (номер на титульном листе не ставится), листы с рисунками, таблицами и т.д. включаются в общую нумерацию.

Начинается пояснительная записка титульным листом, который оформляется на обложке курсового проекта. Образец оформления титульного листа приведен в приложении. После титульного листа на отдельном листе помещается содержание и дальше следует текст. Слово «Содержание» пишется прописными буквами в середине строки. В содержание включаются разделы, подразделы, список литературы, текстовые и графические приложения с указанием страниц.

Формулы пишутся в отдельных строках. Для набора математических формул в машинописном варианте рекомендуется использовать Microsoft Equation. Справа в той же строке в круглых скобках указывается номер формулы. Нумерация формул может быть сквозной или по разделам. В последнем случае номер должен состоять из двух чисел, разделенных точкой – номера раздела и порядкового номера формулы в этом разделе. В следующей строке после слова «где» дается пояснение входящих в формулу символов (столбцом по одному символу в строке). Ссылки на формулы делаются в тексте в круглых скобках (указывается номер формулы).

Рисунки, включенные в пояснительную записку, должны выполняться на отдельных листах тушью или с помощью программных компьютерных средств. Номер рисунка и название рисунка располагается под ним. Под рисунком помещаются также условные обозначения. Нумерация рисунков аналогична нумерации формул. Располагают рисунок на следующем листе после первого упоминания о нем. При ссылке на рисунок его номер указывается в круглых скобках. При повторных ссылках на рисунок перед номером ставится сокращенное слово «смотри», например, (см. рис. 3).

Таблицы должны состоять из вертикальных граф и горизонтальных строк. Диагональное деление головки таблицы не допускается. Заголовки граф указываются в единственном числе и начинаются с прописных букв. Подзаголовки, если они составляют одно предложение с заголовком, начинаются со строчных букв. Если подзаголовки имеют самостоятельное значение, они начинаются с прописных букв. Над таблицей помещается ее название, которое пишется строчными буквами, за исключением первой прописной, и располагается в строке симметрично. Над заголовком справа пишется слово «Таблица» и указывается ее номер. Нумерация таблиц производится так же, как рисунков. Ссылки на таблицы в тексте помещаются в круглых скобках, при этом слово «таблица» пишется без сокращения.

В конце пояснительной записки помещается список литературы, использованной при составлении курсового проекта. Заголовок его пишется прописными буквами и располагается в строке симметрично. В качестве примеров могут служить описания литературных источников, приведенных в списке литературы к учебному пособию.

Ссылка на соответствующий источник делается путем указания его порядкового номера в списке, помещенного в квадратные скобки, например, [2]. В списке литературы источники могут располагаться либо в алфавитном порядке, либо в порядке их упоминания в тексте.

Если в пояснительной записке имеются приложения, каждое из них начинается с нового листа. В правом верхнем углу первого листа пишется прописными буквами слово «ПРИЛОЖЕНИЕ» и указывается его номер арабскими цифрами (знак «№» не ставится). Ссылки на приложения даются в тексте в круглых скобках, например, (приложение 1). Помещаются приложения после списка литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровников Л. З., Орлов Л. И., Попов В. А. Полевая электроразведочная аппаратура: Справочник. – М.: Недра, 1986. – 223 с.
2. Инструкция по электроразведке. – Л.: Недра, 1984. – 352 с.
3. Матвеев Б. К. Электроразведка: Учеб. Для вузов. 2-е изд., перераб и доп. – М.: Недра, 1990. – 368 с.
4. Редозубов А. А. Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки: Учебн. пособие. 2-е изд., стереотипное. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 328 с.
5. Редозубов А. А. Электроразведка. Часть 2. Электроразведка переменным током: Учебн. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. – 188 с.
6. Редозубов А. А. Методические указания по курсовому проектированию по электроразведке для студентов специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых». – Свердловск, 1991.
7. Редозубов А. А. Часть 2 Решение прямых задач электроразведки постоянным током. – Свердловск, 1991.
8. Серков В. А. Автоматизированная система моделирования электроразведки постоянным током: Методическое руководство для студентов 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых». – Свердловск: Изд-во Свердл. горн. ин-та, 1991. – 22 с.
9. Сысков С. С., Петряев В. Е., Шумаков М. С., Косарева Г. А. Интерпретация результатов метода вызванной поляризации: Учебное пособие к практическим занятиям по дисциплине «Электроразведка» для студентов профилизации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ) направления 553200 – «Геология и разведка полезных ископаемых». – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. – 36 с.
10. Сысков С. С., Петряев В. Е., Еловикова Н. Н. Решение прямой и обратной задачи для наклонного поляризующегося пласта: Учебное пособие к курсовому проектированию по дисциплине «Электроразведка» для студентов

профилизации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ) направления 553200 – «Геология и разведка полезных ископаемых». – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1999. – 25 с.

11. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (Петрофизика): Справочник геофизика/ Под ред. Б. Б. Дортман. – М.: Недра, 1984. – 455 с.

12. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах/Под ред. В. К. Хмелевского и В. М. Бондаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 438 и 378 с.

13. Якубовский Ю. В., Ренард И. В. Электроразведка: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 359 с.

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
Факультет геологии и геофизики
КАФЕДРА ГЕОФИЗИКИ

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине Электроразведка на тему:

_____
_____
_____
_____
_____

Руководитель _____доцент__Петряев В.Е.
(должность, ФИО)

Выполнил студент_____
(группа, ФИО)

Екатеринбург- 2022 г.

Приложение 2

Темы курсовых проектов по дисциплине «Электроразведка»

№№ п/п	Тема работы	Литературные источники для выполнения работы
1.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью поисков медноколчеданного оруденения в районе Султановского месторождения (Челябинская область).	1.Столпнер М. Н. К методике поисков медноколчеданных месторождений в Зауралье // Геофизические методы при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений. Л.: Недра, 1970. 169 с. (с. 24-30). 2. Н.А. Сивов. Султановское колчеданное месторождение на Среднем Урале. В кн. Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала. Вып.7. Свердловск, 1958. С. 160 -171.
2.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью поисков колчеданного оруденения в районе Озерного месторождения (Южный Урал)	1. Шаповалов О. М. Применение метода вызванной поляризации на поисковом участке в Челябинской области // Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1964. 146 с. (с. 26-42). 2. Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение / В. А. Прокин, Ф. П. Буслаев, М. И. Исмагилов и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 241 с. (с. 58-64).
3.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью поисков медистых песчаников на северном фланге месторождения Джартас-Пектас (Джезказганское рудное поле)	Журбицкий В. И., Котляров А. М., Маричев К. И. Месторождения медистых песчаников в Джезгазганском районе // Геофизические поиски рудных месторождений / Под ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Изд. КазВИРГ, 1970. 810 с. (с. 415-430).
4.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью поисков полиметаллических месторождений в районе Карболихинского рудного поля на Рудном Алтае	Белаш В. А., Панасевич А. М. Применение метода вызванной поляризации на Рудном Алтае // Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1964. 146 с. (с. 59-65).
5.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью поисков полиметаллического оруденения в Центральном Каратау	Канев А. Т., Матвеев В. С., Шилов Л. И. и др. Свинцово-месторождения Каратау // Геофизические поиски рудных месторожде ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Изд. КазВИРГ, 1970. 810 с. (с. 430-44
6.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью детальных поисков колчеданного оруденения на Аралчинской площади (Мугоджары)	Бачин А. П. и др. Медноколчеданные месторождения в Мугоджарах // Геофизические поиски рудных месторождений / Под ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Изд. КазВИРГ, 1970. 810 с. (с. 415-430)
7.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью поисков медно-порфировых месторождений в Алмалыкском районе (Узбекистан)	1. Геофизические поиски рудных месторождений / Под ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Изд. КазВИРГ, 1970. 810 с. (с. 406-415). 2. Геофизические методы при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений. М.: Недра, 1970. С. 76-83.
8.	Геолого-методическая часть проекта работ методом вызванной поляризации с целью поисков колчеданного оруденения в районе Юбилейного месторождения (Башкирия)	Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение / В. А. Прокин, Ф. П. Буслаев, М. И. Исмагилов и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 241 с. (с. 85-94).

9.	Геолого-методическая часть проекта работ методом переходных процессов с целью поисков колчеданного оруденения в районе Гайского месторождения (Южный Урал)	1. Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение/ Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Исмагилов М. И. и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 120-131. 2. Медноколчеданные месторождения Урала: Геологические условия размещения / Прокин В. А.,Нечеухин В.М., Сопко П.Ф. и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1985. С. 163-167.
10.	Геолого-методическая часть проекта работ методом переходных процессов с целью поисков медноколчеданного оруденения на Шемурской площади (Северный Урал)	Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Исмагилов М. И. и др. Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 64-73.
11.	Геолого-методическая часть проекта работ методом переходных процессов с целью поисков медноколчеданного оруденения в районе Султановского месторождения (Челябинская область)	1.Столпнер М. Н. К методике поисков медноколчеданных месторождений в Зауралье / Геофизические методы при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений. – Л.: Недра, 1970. С. 24-30. 2. Н.А. Сивов. Султановское колчеданное месторождение на Среднем Урале. В кн. Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала. Вып.7. Свердловск, 1958. С. 160 -171.
12.	Геолого-методическая часть проекта работ методом переходных процессов с целью поисков колчеданного оруденения в районе Джусинского месторождения (Южный Урал)	1. Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Исмагилов М. И. и др. Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 207-214. 2. Якубовский Ю.В. Индуктивные методы электроразведки. Госгеолтехиздат.- М., 1963. С. 175 – 179.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой геофизики
«1» сентября 2022 г.

проф. А.Г. Талалай

Редозубов А.А., Петряев В.Е.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, специализации №1 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»

Екатеринбург, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 2

2. Постановка задачи..... 2

3.Порядок выполнения контрольной работы……6

4. Требования к оформлению..... 7

5. Список литературы…….7

5. Приложение 1. Варианты индивидуальных заданий 8

6.Приложение 2. Титульный лист…….....9

1. Общие положения

Работа представляет собой самостоятельное расчетно-графическое задание, целью которого является изучение нормального электрического поля одного и двух точечных источников тока. Эти поля широко используются в электроразведке. Знание их необходимо при анализе результатов измерений потенциала или градиента потенциала и при выделении аномалий. Кроме того, вызываемые различными объектами аномалии часто можно представить, как комбинацию полей точечных источников, и на основе знания поля точечного источника можно без сложных расчетов получить представление об этих аномалиях.

При выполнении работы расчет графиков потенциала и напряженности поля предлагается выполнить для одного источника, а поле двух источников получить графическим способом с использованием теоремы суперпозиции. При расчете поля одного источника лучше пользоваться средствами Exel. Расчет и построение графиков для двух источников следует выполнить средствами Exel, чтобы освоить применение теоремы суперпозиции. При этом сохраняются все промежуточные построения. Средствами пакета Paint показать положение и знак источников тока. Расчеты сопроводить табличным материалом.

2. Постановка задачи

В однородном изотропном полупространстве с удельным сопротивлением ρ на глубине H расположен точечный источник A, с которого стекает

ток силой I. Начало координат располагается в точке A, оси X и Y ориентированы горизонтально, ось Z - вертикально вверх. Профиль располагается на поверхности земли и ориентирован параллельно оси X. Точка M, в которой определяется поле, перемещается по профилю в интервале Хнач < X < Хкон. Пример, поясняющий задание к контрольной работе приведен на Рис. 1.

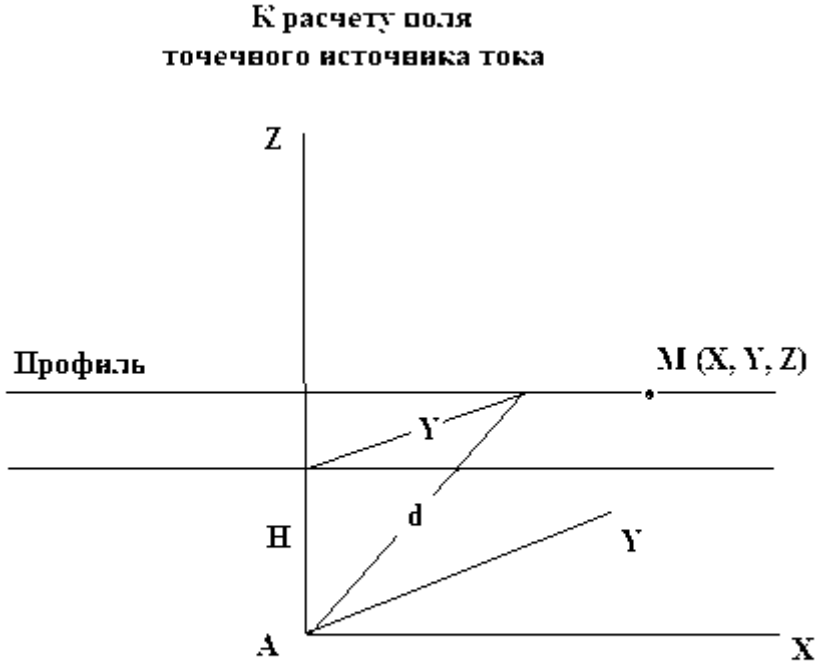


Рис. 1

Электрическое поле в точке M определяется уравнениями:

$U = \rho I / (2\pi\sqrt{x^2 + y^2 + H^2})$ (1)

$E_x = \rho I\, x/(2\pi(\sqrt{x^2 + y^2 + H^2})^3)$ (2)

$E_y = \rho I\, y/(2\pi(\sqrt{x^2 + y^2 + H^2})^3)$ (3)

В приведенных формулах U – потенциал, E_x и E_y – компоненты напряженности поля по осям x и y соответственно.

Анализируя эти формулы нетрудно убедиться, что потенциал и составляющая поля E_y имеют экстремумы при $X_{extr} = 0$, а составляющая E_x при $X_{extr} = \sqrt{y^2 + H^2}$.

Результаты расчета поля точечного источника следует оформить в виде таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 1

Результаты расчета поля точечного источника

Условия расчета: I = ; ρ = ; H = ; y_1 = ; y_2 = .

x	y_1			y_2		
	U	E_x	E_y	U	E_x	E_y

Начальное и конечное значение x выбирают таким образом, чтобы длина половины профиля была не меньше удвоенного указанного в задании значения L (расстояния между источниками тока при расчете поля 2-х источников). Например: расстояние между источниками тока 1500 м. Значит длина профиля должна составлять не менее 6000 м. Такая длина профиля будет необходима при построении поля 2-х источников тока. Шаг выбирают таким, чтобы получить достаточную детальность графиков и в то же время не загромождать график.

Необходимо рассчитать координату экстремума аналитически, а затем подставив ее значение в формулу найти значение поля в этой точке. На графиках указать положение и знак источников тока, положение координаты X_{extr} и значение поля в этой точке.

Для нахождения поля двух источников следует применить теорему суперпозиции и воспользоваться результатами расчета поля одного источника. Если поле создается источниками A и B, то в любой точке выполняются уравнения:

$$U^{AB} = U^A + U^B \quad (4)$$

$$\bar{E}^{AB} = \bar{E}^A + \bar{E}^B \quad (5)$$

Векторное уравнение (5) переходит в обыкновенное, если вместо полной напряженности поля взять ее любую пространственную компоненту:

$$E_s^{AB} = E_s^A + E_s^B \quad (6)$$

Зная поле одного источника можно найти поле двух источников путем аналитического расчета или графически. Образец построения графика

напряженности поля двух точечных источников разного знака графическим способом приведен на рис 2.

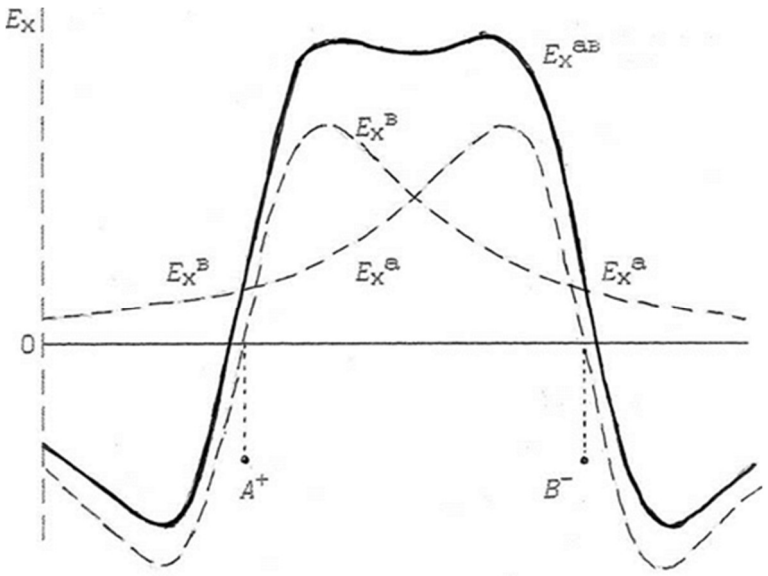


Рис. 2

В приведенном примере источники тока имеют разные знаки. Поэтому поле источника В имеет знак, противоположный по отношению к полю источника А при одинаковой форме и амплитуде графиков. Если источник В имеет ту же полярность, что и источник А, графики для обоих источников совершенно одинаковы, но смещены один относительно другого на расстояние L = AB.

Совершенно аналогично строятся графики потенциала для поля двух точечных источников одинакового или разного знака.

В качестве исходных данных студенту выдаются следующие характеристики - удельное электрическое сопротивление среды, глубина погружения источника тока А, расстояние между источниками одинакового или разного знака, характеристики удаления профиля от проекции источников по оси Y (Y_1 и Y_2). Все исходные данные заданы в системе СИ (Приложение1).

3.**Порядок выполнения контрольной работы**

При выполнении контрольного задания студенту необходимо выполнить следующее.

1. Выполнить расчет поля точечного источника (U, E_x и E_y) при заданных значениях ρ, I, H по двум профилям, ориентированным параллельно оси *X* при заданных значениях Y. Результаты расчета представить в виде таблицы (значения U и E должны быть выражены в милливольтах).
2. Построить графики U, E_x и E_y по обоим профилям. Для каждого профиля все графики должны быть построены относительно общей оси расстояний *X*.

3. Пользуясь теоремой суперпозиции, построить графическим способом по обоим профилям графики U и E_x для поля двух точечных источников разного и одинакового знака при заданном расстоянии L между источниками. Мощности обоих источников принять одинаковыми.

4. Составить объяснительную записку, в которой описать порядок выполнения расчетов и построения графиков для одного и двух источников тока и дать подробный анализ полученных результатов. При анализе результатов надо описать форму всех графиков, указать положение экстремумов, точек перехода через нуль и других характерных особенностей.

4.Требовани к оформлению контрольной работы

Текст должен быть написан на листах стандартного формата А4, шрифт Times New Roman, кегль 14. Графические материалы выполнены средствами Exel и доведены с помощью графического редактора Paint. Рисунки и таблицы должны быть аккуратно оформлены (в качестве образца можно использовать рисунки и таблицу, имеющиеся в задании). Текст, таблицы и графические материалы должны иметь титульный лист (см. Приложение 2).

5. Список литературы

1.Редозубов А. А. Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки: Учебн. пособие. 2-е изд., стереотипное. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 328 с.

2.Матвеев Б. К. Электроразведка: Учеб. Для вузов. 2-е изд., перераб и доп. – М.: Недра, 1990. – 368 с.

Приложение 1

Варианты для выполнения контрольной работы

№ варианта	Ток I (А)	ρ (Ом м)	H (м)	Y_1 (м)	Y_2 (м)	L (м)
1	2	1500	500	0	2000	2000
2	1	4000	600	400	3200	3000
3	2	2000	450	200	2500	2000
4	2	1500	350	100	2000	1500
5	0,5	250	100	50	500	450
6	1	1500	500	50	2000	2000
7	2	2000	600	0	2500	2500
8	1,6	3500	450	400	3000	2800
9	0,3	400	100	100	600	600
10	3	2000	400	50	1700	1600
11	0,5	100	50	100	400	500
12	0,5	500	0	100	500	500
13	3	3000	500	350	2500	2800
14	1,5	600	300	100	1400	1400
15	1	500	200	0	1000	800
16	4	3000	600	200	3000	2800
17	2	500	400	0	1500	1500
18	3,2	1500	450	50	1800	1800
19	0,4	600	125	50	750	750
20	2,5	2500	500	300	2700	2500
21	1,5	2000	250	200	1500	1400

Приложение 2

Министерство высшего образования
и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
Факультет геологии и геофизики
Кафедра геофизики

Б1.Б.2.03 «Электроразведка»

КОНТРОЛЬНАЯ (РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ) РАБОТА

Выполнил: студент Иванов И.И.,

группа РФ-18

Руководитель: доц. Петряев В.Е.

Екатеринбург 2022 г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

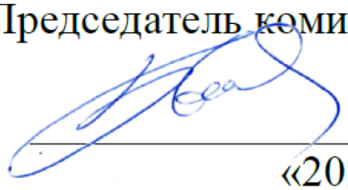
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 1

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Екатеринбург
2020

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Часть 1

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Редозубов А.А., Косарева Г.А. Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. 27 с.

Методическое руководство содержит необходимые указания по выполнению индивидуальных домашних заданий, соответствующих программе дисциплины «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ).

Рецензент: В. Е. Петряев, канд.геол.-мин.наук, доцент кафедры геофизики.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного университета.

© Редозубов А.А., Косарева Г.А., 2020 © Уральский государственный горный университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Задание 1. Преломление электрического поля на границе раздела. 3
2. Задание 2. Расчет коэффициента установки. 4
3. Задание 3. Приближенное построение графиков $\rho_к$ электропрофилирования. 7
4. Задание 4. Определение типов многослойных кривых ВЭЗ. Определение суммарной продольной проводимости S и удельных сопротивлений верхнего и нижнего слоев. 17
5. Задание 5. Выбор источника тока и расчет питающих заземлений. 19
6. Литература. 26

Задание 1. Преломление электрического поля на границе раздела.

Закон преломления поля на контакте двух сред, различающихся по удельному сопротивлению, вытекает из граничных условий и имеет вид:

$$\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \qquad (1.1)$$

где ρ_1 и ρ_2 – удельные сопротивления пород по разные стороны контакта;

α_1 и α_2 – углы, образованные векторами плотности тока (или напряженности поля) с нормалью к контакту в бесконечно близких точках в среде ρ_1 и ρ_2 соответственно.

Так как изолинии потенциала ортогональны токовым и силовым линиям, для них закон преломления имеет такой же вид, если в формуле (1.1) в качестве углов α_1 и α_2 принимать углы, образованные изолинией потенциала с границей раздела (рис.1.1).

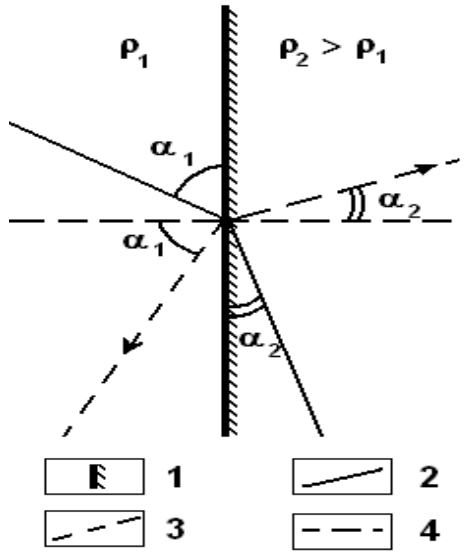


Рис.1.1 Преломление электрического поля на границе двух сред:
1 – граница раздела; 2 – изолинии потенциала; 3 – токовые (силовые) линии; 4 – нормаль к границе раздела.

Задание

1. По фрагментам двух изолиний потенциала определить положение контакта двух пород разного сопротивления.

2. Определить соотношение удельных сопротивлений пород по разные стороны контакта: найти значения необходимых величин, написать формулу в общем виде, подставить в неё числовые значения и вычислить отношение сопротивлений (большего к меньшему).

3. Построить силовые (токовые) линии, проходящие через точки излома изолиний (по обе стороны контакта).

Литература по теме задания: /4/, сс.12-13; /5/, сс.10-11.

Задание 2. Расчет коэффициента установки.

В методах сопротивлений эффективное (кажущееся) сопротивление среды определяется, как произведение нормированной по току в питающей линии разности потенциалов между приемными заземлениями $\Delta U/I$ на коэффициент установки K. Коэффициент K зависит от типа установки и её размеров. В однородной среде кажущееся сопротивление $\rho_к = K\frac{\Delta U}{I}$ равно истинному удельному сопротивлению ρ и от типа и размеров установки не зависит. В неоднородной среде $\rho_к$ зависит от параметров установки и её положения относительно слагающих геоэлектрический разрез геологических тел.

В зависимости от взаимного расположения приемных заземлений M и N может измеряться разность потенциалов ΔU, потенциал U или напряженность поля E. Потенциал измеряется в тех случаях, когда приемное заземление N отнесено на большое расстояние, принимаемое за бесконечное. Напряженность поля может быть измерена, если расстояние между заземлениями M и N равно 1 метру (или другой единице длины при использовании иной системы измерений). Практически можно перейти от ΔU к E и при любом размере линии, если он достаточно мал по сравнению с расстоянием до питающих заземлений: $E=\Delta U/MN$. Таким образом, в зависимости от измеряемой в приемной линии величины, кажущееся сопротивление может быть вычислено по одной из следующих формул:

$$\rho_к = K\frac{\Delta U}{I}$$

$$\rho_к = K\frac{U}{I} \qquad (2.1)$$

$$\rho_к = K\frac{E}{I}$$

Коэффициенты установок в этих случаях, естественно, будут разными.

Для вычисления коэффициента установки во всех случаях используется один и тот же принцип. Надо написать выражение для измеряемой в приемной

линии величины (ΔU, U или E) в однородной среде с удельным сопротивлением ρ. Затем решить полученное уравнение относительно ρ и выделить отношение измеряемой в приемной линии величины к току. Оставшееся после этого в уравнении для ρ выражение представляет собой формулу для вычисления K.

Не останавливаясь на простейших установках, рассмотренных в /4/, когда все заземления расположены на одной прямой линии, рассмотрим расчет коэффициента установки для некоторых более сложных случаев.

а) *Установка с погруженным питающим заземлением, измерения выполняется в вертикальной скважине* (рис.2.1)

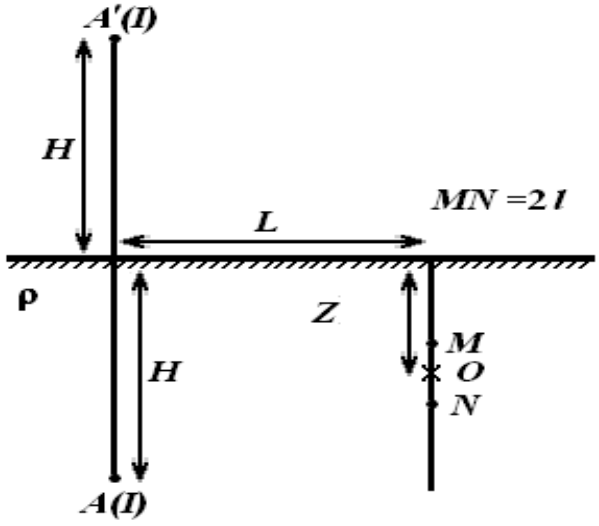


Рис. 2.1. Установка с погруженным питающим заземлением и приемной линией в соседней скважине

Так как и питающее заземление, и приемная линия находятся не на поверхности земли, для учета границы раздела «земля-воздух» в точке, являющейся зеркальным отражением действительного источника A, поместим фиктивный источник A' такой же мощности (см. рис.2.1). Теперь поле можно рассчитывать, как в безграничной среде при двух источниках A и A'. Разность потенциалов между приемными заземлениями

$$\Delta U = \frac{\rho I}{4\pi}\left(\frac{1}{AM}+\frac{1}{A'M}-\frac{1}{AN}-\frac{1}{A'N}\right)=$$

$$=\frac{\rho I}{4\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z+\ell)^2}}+\frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z+\ell)^2}}\right] \quad (2.2)$$

Решив уравнение (2.2) относительно ρ, получим:

$$\rho = \frac{4\pi}{\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z+\ell)^2}}+\frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z+\ell)^2}}}\times \quad (2.3)$$

$$\times\frac{\Delta U}{I}=K\frac{\Delta U}{I}\cdot$$

Если требуется найти выражение коэффициента установки для вычисления $\rho_к$ через напряженность поля E, надо написать уравнение потенциала U в центре линии MN (точка О)

$$U = \frac{\rho I}{4\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z)^2}} + \frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z)^2}}\right]. \qquad (2.4)$$

Продифференцировав выражение U по Z, найдем E_z:

$$E_Z = -\frac{\partial U}{\partial Z} = \frac{\rho I}{4\pi}\left\{-\frac{H-Z}{\left[L^2+(H-Z)^2\right]^{3/2}} + \frac{H+Z}{\left[L^2+(H+Z)^2\right]^{3/2}}\right\}. \qquad (2.5)$$

Решив (2.5) относительно ρ, получим:

$$\rho = \frac{4\pi}{\dfrac{H+Z}{\left[L^2+(H+Z)^2\right]^{3/2}} - \dfrac{H-Z}{\left[L^2+(H-Z)^2\right]^{3/2}}} \cdot \frac{E}{I} = K\frac{E}{I} \qquad (2.6)$$

не трудно видеть, что в этом случае коэффициент установки имеет размерность не «м», а «м^2».

Чтобы получить выражение коэффициента установки для случая измерения потенциала, надо решить относительно ρ уравнение (2.4).

Если питающее заземление или приемная линия располагаются на поверхности земли, учет границы раздела «земля-воздух» производится путем удвоения потенциала, т.е. в выражении для U «4π» заменяется на «2π».

б) *Установка с двумя питающими заземлениями одного знака разной мощности* (рис.2.2)

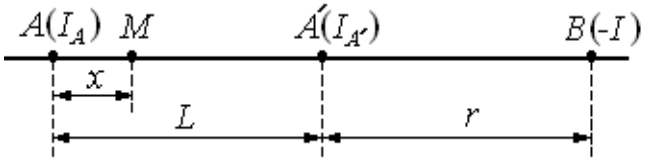


Рис. 2.2. Установка с двумя питающими заземлениями одного знака

Потенциал в точке M создается токами, стекающими с двух положительных источников A и A' и отрицательного заземления B. Сумма токов источников A и A' равна току на заземлении B. Выражение для потенциала удобно записать, выразив токи, стекающие с заземлений A и A' через ток на заземлении B. В этом случае потенциал

$$U = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{I_A/I}{AM} + \frac{I_{A'}/I}{A'M} - \frac{1}{BM}\right) = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{I_A/I}{x} + \frac{I_{A'}/I}{L-x} - \frac{1}{r+L-x}\right). \qquad (2.7)$$

Решив уравнение относительно ρ, получим:

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{I_A/I}{x} + \frac{I_{A'}/I}{L-x} - \frac{1}{r+L-x}} \cdot \frac{U}{I} = K\frac{U}{I}. \qquad (2.8)$$

Если кажущееся сопротивление вычисляется через разность потенциалов между приемными заземлениями *M* и *N*, надо написать выражение для потенциалов в точках *M* и *N*, взять их разность и , решив полученное уравнение относительно ρ, найти выражение для коэффициента установки, как это было сделано в предыдущем примере.

Если кажущееся сопротивление вычисляется через напряженность поля, надо продифференцировать выражение (2.7) по *x* и решить полученное уравнение относительно ρ. Отбросив в полученном решении отношение *E/I*, найдем выражение для коэффициента установки.

Задание

1. Вывести формулу коэффициента заданной установки в общем виде.

2.Подставить в формулу заданные числовые значения параметров установки и вычислить величину коэффициента установки. Указать размерность.

Литература по теме задания: /4/, сс.32-35; /5/, сс.32-35; /7/, сс.137-141; /2/, с.32; /3/, с.106.

Задание 3. Приближенное построение графиков $\rho_к$ электропрофилирования.

Графики кажущегося сопротивления при профилировании через одиночные контакты и пласты имеют простую форму и их интерпретация обычно не вызывает затруднений. Если расстояние между такими элементами геоэлектрического разреза превышает размер установки, каждый из них

проявляется на графике, как отдельная аномалия, которая легко интерпретируется. Если же в пределах установки могут располагаться два или более элемента разреза, аномалии от них накладываются одна на другую и график $\rho_к$ может стать достаточно сложным для интерпретации. В последнем случае можно использовать способ подбора. Но решение прямой задачи для нескольких близко расположенных границ раздела громоздко и реально осуществимо только с применением компьютера при наличии соответствующих программ. Поскольку интерпретация результатов электропрофилирования, как правило, качественная и сводится к определению положения контактов и оценке соотношения удельных сопротивлений, при решении прямой задачи можно ограничиться получением формы графиков, без точного количественного определения $\rho_к$. Для этого удобно воспользоваться способом приближенного построения графиков $\rho_к$, основанном на связи кажущегося сопротивления и плотности тока:

$$\rho_к = \rho_{MN} \frac{j_{MN}}{j_{0MN}}, \qquad (3.1)$$

где ρ_{MN} – удельное сопротивление среды между приемными заземлениями;

j_{MN} – плотность тока между приемными заземлениями;

j_{0MN} – плотность тока между приемными заземлениями в однородной среде.

Принцип приближенного построения графиков $\rho_к$ и его применение на примере одиночных пластов подробно рассмотрены в /4/, сс.104-117 и /5/, сс.77-87. Для иллюстрации его использования в более сложных случаях рассмотрим пример, когда на небольшом расстоянии один от другого располагаются два пласта, имеющие повышенное и пониженное сопротивление. Пусть плохо проводящий пласт имеет среднюю, т.е. несколько большую размера приемной линии мощность, а хорошо проводящий пласт маломощный, имеющий мощность, меньшую разноса *MN* (рис.3.1).

Графики $\rho_к$ комбинированного и симметричного профилирования отдельно над каждым пластом, аналогичные приведенным на рис.3.17,а и 3.22,а

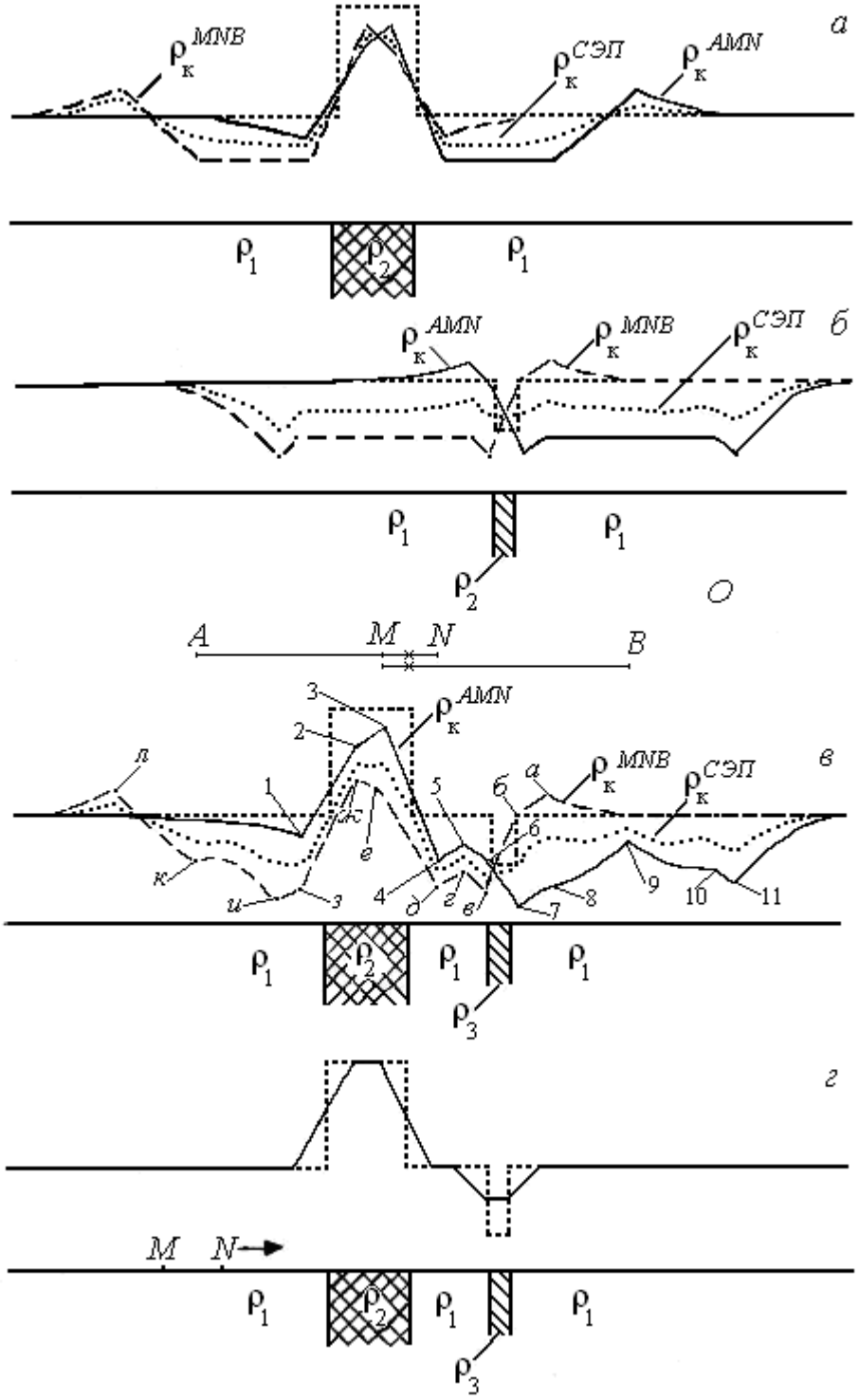


Рис. 3.1. Графики $\rho_к$ электропрофилирования над вертикальным пластом: *а* – графики $\rho_к$ комбинированного и симметричного профилирования над плохо проводящим пластом средней мощности; *б* – то же над хорошо проводящим пластом малой мощности; *в* – то же над сближенными плохо и хорошо проводящим пластами; *г* – график $\rho_к$ срединного градиента над двумя пластами. Мелкими штрихами показаны графики истинных удельных сопротивлений

в /4/ и рис.2.15,а и 2.19,а в /5/, показаны на рис.3.1,а и 3.1,б. Графики $\rho_к$ для случая, когда оба пласта расположены рядом, изображены на рис.3.1,в. Рассмотрим их построение. Пусть установка *AMN* передвигается слева направо. Пока расстояние до пластов достаточно велико, они не оказывают влияние на растекание тока в пределах установки и $j_{MN} = j_{0MN}$. Поэтому, в соответствии с (3.1), $\rho_к = \rho_{MN} = \rho_1$. По мере приближения к плохо проводящему пласту плотность тока на участке расположения приемной линии уменьшается, так как пласт препятствует растеканию тока. При этом j_{MN} становиться меньше j_{0MN} и $\rho_к$ меньше ρ_1.Понижение $\rho_к$ происходит до тех пор, пока передний приемный электрод *N* не встанет на контакт (точка 1).

При переходе приемной линии через левый контакт пласта ρ_{MN} быстро возрастает от ρ_1 до ρ_2. При этом в силу граничного условия скачкообразного изменения j_{MN} не происходит (установка ориентирована вкрест контакта, поэтому величина j_{MN} определяется компонентой плотности тока, нормальной к контакту). Следовательно, поведение $\rho_к$ на этом участке в основном определяется изменением ρ_{MN}. Когда контакт располагается между приемными электродами, кажущееся сопротивление растет, пока заземление *M* не встанет на контакт (точка 2).

Когда приемная линия перемещается внутри пласта, ρ_{MN} остается постоянным. Но по мере приближения к правому контакту пласта, т.е. к более проводящей среде за пластом, происходит некоторое увеличение j_{MN} и кажущееся сопротивление продолжает расти, достигая максимальной величины, когда электрод *N* находится на контакте (точка 3). Так как плотность тока внутри пласта меньше j_0, $\rho_к$ не достигает удельного сопротивления пласта ρ_2.

При переходе приемной линии через правый контакт плохо проводящего пласта ρ_{MN} уменьшается от ρ_2 до ρ_1. Кажущееся сопротивление при этом уменьшается, пока электрод *M* не встает на контакт (точка 4). Так как плотность тока за пластом меньше j_0 вследствие экранирующего действия пласта, $\rho_к$ в этой точке меньше ρ_1.

Если бы не было проводящего пласта, после перехода линии MN через пласт наблюдалась бы площадка равных сопротивлением, пока питающее заземление и приемная линия разделены пластом (см.рис.3.1,а). В рассматриваемом случае вследствие натекания тока в проводящий пласт j_{MN} растет и соответственно увеличивается $\rho_к$ пока электрод N не встанет на левый контакт проводящего пласта (точка 5). Если бы не было экранирующего действия пласта высокого сопротивления $\rho_к$ в этой точке было бы больше ρ_1 (см.рис.3.1б). В нашем случае кажущееся сопротивление имеет меньшую величину.

После перехода электрода N через левый контакт проводящего пласта по мере движения установки проходит уменьшение ρ_{MN}, так как между приемными заземлениями включается более проводящая среда. Но наименьшее значение ρ_{MN}, когда весь пласт располагается между приемными заземлениями (точка 6), остается больше, чем ρ_3, так как пласт занимает только часть интервала MN. Поэтому кажущееся сопротивление в точке 6 имеет достаточно большую величину. Так как $MN/2$ больше мощности пласта, эта точка располагается левее пласта.

При дальнейшем перемещении установки, пока пласт располагается внутри приемной линии, ρ_{MN} не меняется. Но при этом между приемными заземлениями вместо участка вмещающей среды перед пластом, имеющего высокое сопротивление и высокую плотность тока, включается участок среды за пластом с тем же сопротивлением ρ_1, но низкой плотностью тока из-за экранирующего действия пласта. Поэтому j_{MN} уменьшается и происходит быстрое уменьшение $\rho_к$ до тех пор, пока электрод M не встанет на левый контакт проводящего пласта (точка 7).

По мере перемещения электрода M через проводящий пласт ρ_{MN} возрастает, достигая величины ρ_1, когда электрод M стоит на правом контакте пласта. При этом происходит некоторый рост $\rho_к$ (точка 8). Но из-за экранирующего действия пластов значение $\rho_к$ в этом случае значительно ниже

уровня площадки равных сопротивлений для одиночного пласта (сравните с рис.3.1б).

При дальнейшем движении установки питающее заземление перемещается через плохо проводящий пласт и экранирующее действие пласта уменьшается. При этом увеличивается j_{MN} и кажущееся сопротивление растет, достигая максимальной величины, когда заземление *A* встает на правый контакт плохо проводящего пласта (точка 9). Происходит «обратное экранирование», пласт как бы отражает поле, увеличивая его интенсивность в правой части профиля. Но из-за экранирующего действия проводящего пласта $\rho_к$ остается меньшим ρ_1 (сравните с рис. 3.1а).

По мере удаления электрода *A* от плохо проводящего пласта влияние последнего уменьшается и $\rho_к$ постепенно понижается, выходя на нормальный уровень площадки равных сопротивлений для проводящего пласта. Площадка заканчивается, когда питающее заземление встает на левый контакт проводящего пласта (точка 10).

При переходе питающего заземления через проводящий пласт j_{MN} и, соответственно, $\rho_к$ уменьшается, так как пласт как бы «отсасывает» ток от правой части профиля, где расположена линия *MN*. Минимальное значение $\rho_к$ наблюдается, когда электрод *A* стоит на правом контакте проводящего пласта (точка 11). После этого, по мере удаления установки от пластов постепенно восстанавливается нормальное растекание тока и $\rho_к$ выходит на уровень сопротивления вмещающей среды ρ_1.

Теперь рассмотрим график $\rho_к$ для встречной трехэлектродной установки такого же размера. Будем перемещать установку *MNB* справа налево (удобнее рассматривать поведение $\rho_к$, когда приемная линия располагается впереди по ходу движения установки). При приближении к проводящему пласту происходит натекание тока в пласт и j_{MN} увеличивается по сравнению с j_{0MN}. Это приводит к увеличению $\rho_к$, которое становится больше ρ_1 и достигает наибольшей величины, когда электрод *M* становится на контакт (точка *a*).

При перемещении заземления M по пласту часть интервала MN заполняется проводящей средой с удельным сопротивлением ρ_3. Это приводит к уменьшению ρ_{MN} и кажущегося сопротивления, пока электрод M не встанет на левый контакт и весь пласт не окажется в пределах приемной линии (точка *б*).

Пока пласт находится внутри приемной линии, ρ_{MN} не меняется, но по мере перемещения установки вместо участка вмещающей среды справа от пласта с относительно высоким удельным сопротивлением и высокой плотностью тока включается участок слева от пласта с тем же удельным сопротивлением и низкой плотностью тока. Поэтому $\rho_к$ понижается, достигая наименьшего значения, когда электрод N находится на правом контакте проводящего пласта (точка *в*).

По мере перемещения электрода N от правого контакта пласта к левому происходит увеличение ρ_{MN} и, соответственно, $\rho_к$ до тех пор, пока заземление N не окажется на левом контакте пласта (точка *г*).

При дальнейшем перемещении установки в случае одиночного пласта наблюдалась бы площадка равных сопротивлений (см.рис.3.1,б). но так как в нашем случае есть еще плохо проводящий пласт, при приближении к нему плотность тока j_{MN} уменьшается и кажущееся сопротивление понижается, пока электрод M не достигнет правого контакта этого пласта (точка *д*).

При входе приемной линии в плохо проводящий пласт происходит увеличение ρ_{MN} от ρ_1 до ρ_2 и возрастание кажущегося сопротивления, пока приемная линия полностью не выйдет в пласт (точка *е*). При приближении к левому контакту пласта происходит увеличение плотности тока за счет натекания тока в более проводящую среду слева от пласта. При этом $\rho_к$ растет, пока электрод M не встанет на левый контакт пласта (точка *ж*). когда приемная линия установки MNB располагается внутри плохо проводящего пласта, между ней и питающим заземлением находится проводящий пласт, служащий экраном. Поэтому над пластом $\rho_к^{MNB}$ меньше, чем $\rho_к^{AMN}$.

При выходе приемной линии из плохо проводящего пласта ρ_{MN} уменьшается и, соответственно, понижается $\rho_к$, пока электрод *N* не достигает левого контакта пласта (точка *з*). в этом положении между приемной линией и питающим заземлением располагаются оба пласта. Поэтому $\rho_к$ в точке *з* значительно ниже уровня площадки равных сопротивлений для одиночного плохо проводящего пласта (сравните с рис.3.1,а).

При дальнейшем перемещении установки в нашем случае питающий электрод переходит через хорошо проводящий пласт. При этом наблюдается понижение $\rho_к$ (экранный эффект). Наименьшего значения $\rho_к$ достигает, когда питающий электрод *B* располагается на левом контакте проводящего пласта (точка *и*).

Далее, по мере удаления питающего заземления от проводящего пласта $\rho_к$ растет и выходит на уровень площадки равных сопротивлений для одиночного плохо проводящего пласта. Площадка равных сопротивлений заканчивается, когда электрод *B* встает на правый контакт плохо проводящего пласта (точка *к*).

При переходе питающего заземления через плохо проводящий пласт j_{MN}, а с ней и $\rho_к$ растут. После перехода электрода *B* через середину пласта $\rho_к$ становится больше сопротивления вмещающей среды, достигая наибольшего значения, когда питающее заземление находится на левом контакте плохо проводящего пласта (точка *л*). При дальнейшем движении установки постепенно восстанавливается нормальное растекание тока и $\rho_к$ выходит на уровень удельного сопротивления вмещающей среды.

Кажущееся сопротивление для симметричной установки находится, как среднее арифметическое из $\rho_к$, измеренных встречными трехэлектродными установками /4/, сс. 92-93, /5/, с.66.

$$\rho_к^{СЭП} = \frac{\rho_к^{AMN} + \rho_к^{MNB}}{2}. \qquad (3.2)$$

Сравнивая графики $\rho_к$ для одиночных пластов и двух сближенных таких же пластов можно видеть, как аномалии искажаются влиянием соседних объектов. В методе комбинированного профилирования графики $\rho_к$ для

установок AMN и *MNB* над одиночным пластом высокого сопротивления (см.рис.3.1, *а*) и над таким же пластом в присутствии проводящего пласта (см.рис.3.1, *в*) по форме одинаковы. Но в случае двух пластов в приведенном примере пропадает обратное пересечение графиков. Это уменьшает надежность интерпретации, так как такой же характер (одновременное повышение $\rho_к$ для обеих установок) имеет аномалия над приповерхностной плохо проводящей неоднородностью.

Над проводящим пластом в случае двух объектов прямое пересечение графиков сохраняется, но смещается в сторону пласта высокого сопротивления. Значение $\rho_к^{AMN}$ между пластами сильно понижены по сравнению со случаем одного пласта (сравните с рис.3.1,*б*). В целом графики $\rho_к$ в этой части профиля больше похожи на аномалию от контакта (см.рис.3.1, *в*).

Аномалия над плохо проводящим пластом в симметричном профилировании мало отличается от аномалии над одиночным пластом. В случае двух пластов только немного уменьшается ее интенсивность (см.рис.3.1, *в*). Над маломощным проводящим пластом аномалия в обоих случаях имеет весьма малую интенсивность (менее 20%). В реальных условиях аномалии такой интенсивности чаще всего выделить не удается. Заметим, что в комбинированном профилировании над таким одиночным пластом аномалия очень отчетливая (см.рис.3.1, *б*).

Наименьшее искажение аномалий от соседних объектов наблюдается в методе срединного градиента. В этом случае, если разнос питающих электродов *AB* достаточно большой, в средней части установки поле можно полагать однородным. Если установка ориентирована вкрест простирания вертикальных границ раздела, при переходе через них изменения плотности тока не происходит и во всех точках профиля $j_{MN}= j_{0MN}$. Поэтому, согласно (3.1), $\rho_к= \rho_{MN}$, т.е кажущееся сопротивление равно удельному сопротивлению той среды, в которой располагается приемная линия. Если разные участки среды между приемными электродами различаются по удельному сопротивлению, величина ρ_{MN} находится, как среднее взвешенное значение. Например, пусть участок

длиной d имеет удельное сопротивление ρ_1, а оставшаяся часть интервала MN - сопротивление ρ_2. Тогда

$$\rho_{MN} = \frac{\rho_1 d + \rho_2 (MN - d)}{MN}. \qquad (3.3)$$

График $\rho_к$ срединного градиента для рассматриваемого геоэлектрического разрезе приведен на рис.3.1,г. Как видно из рисунка, в методе срединного градиента аномалии имеют несколько большую интенсивность, чем в симметричном профилировании.

Рассмотренный способ приближенного построения графиков $\rho_к$ можно применить и когда крутопадающие границы раздела перекрыты слоем рыхлых отложений. В этом случае характер графиков сохраняется, только они становятся более сглаженными, а интенсивность аномалий уменьшается.

Задание

1. Построить графики $\rho_к$ для встречных трехэлектродных установок (комбинированного профилирования)над заданным геоэлектрическим разрезом с вертикальными границами раздела. Следите, чтобы положение характерных точек графиков соответствовало размерам вашей установки.

2. По графикам $\rho_к$ для встречных трехэлектродных установок построить график $\rho_к$ симметричного профилирования.

3. Построить график $\rho_к$ срединного градиента.

4. Подробно опишите ход рассуждений, которыми Вы пользовались при построении графиков $\rho_к$. Опишите характерные признаки аномалий над имеющимися в вашем разрезе объектами. Укажите, как по графикам $\rho_к$ определяется положение границ раздела.

Рекомендация по выполнению задания

Прежде чем приступить к построению графиков $\rho_к$ на листе миллиметровки начертите геоэлектрический разрез. Над разрезом покажите график истинных удельных сопротивлений. На полоске бумаги нарисуйте в

масштабе вашу трехэлектродную установку, отметьте точку записи – центр приемной линии (рис.3.2) Перемещая схему установки вдоль разреза, анализируйте поведение $\rho_к$, точно отмечайте положение характерных точек графика, которые наблюдаются, когда какой-либо электрод располагается на границе раздела.

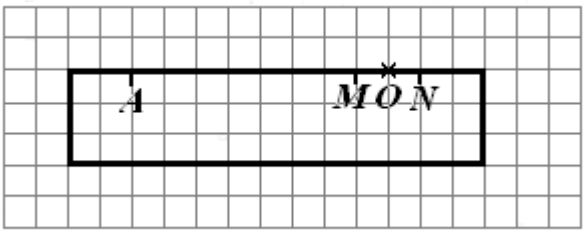


Рис.3.2. Шаблон для построения графика

Литература по теме задания: /4/, сс.92-93, сс.104-117; /5/, сс.66, сс.77-87.

Задание 4. Определение типов многослойных кривых ВЭЗ. Определение суммарной продольной проводимости S и удельных сопротивлений верхнего и нижнего слоев.

Кривые зондирования различаются по числу слоев в разрезах, которым они соответствуют. Различают двухслойные, трехслойные и многослойные (с числом слоев более трех) кривые. В случае необходимости количество слоев в многослойных разрезах конкретизируют и, соответственно, выделяют кривые четырехслойные, пятислойные и т.д.

Более детальная классификация производится по соотношению удельных сопротивлений слоев. Двухслойные кривые по этому признаку могут быть двух типов: кривые с восходящей ветвью ($\rho_2>\rho_1$) и кривые с нисходящей ветвью ($\rho_2<\rho_1$).

Трехслойные кривые могут быть четырех типов. Кривые с хорошо проводящим промежуточным слоем ($\rho_1>\rho_2<\rho_3$) называются кривыми типа *H*. Эти кривые имеют минимум в средней части. Кривыми типа *K* называют кривые с максимумом, соответствующие разрезу с плохо проводящим

промежуточным слоем ($\rho_1<\rho_2>\rho_3$). Кривые типа *Q* характеризуются постепенным уменьшением $\rho_к$ по мере увеличения размера установки *AB*/2. От двухслойных кривых с нисходящей ветвью они отличаются наличием в средней части коленообразного уступа (не всегда четко выраженного). Такие кривые соответствуют разрезам, в которых каждый нижележащий слой имеет удельное сопротивление, меньшее, чем у вышележащего слоя ($\rho_1>\rho_2>\rho_3$). В кривых типа *A*, напротив, $\rho_к$ с увеличением *AB*/2 возрастает. Такие кривые соответствуют разрезам, в которых каждый нижележащий слой имеет более высокое удельное сопротивление ($\rho_1<\rho_2<\rho_3$).

При определении типа многослойных кривых их рассматривают, как совокупность трехслойных кривых. Сначала выделяется участок кривой, соответствующий трем верхним слоям разреза и определяется его тип. Затем отбрасывается первый слой, добавляется участок кривой, соответствующий четвертому слою и определяется тип получившейся трехслойной кривой и т.д. если записать по порядку символы всех трехслойных кривых, получится название многослойной кривой. Число символов в шифре многослойной кривой на два меньше числа слоев в разрезе. Пример определения типа пятислойной кривой приведен на рис.4.1.

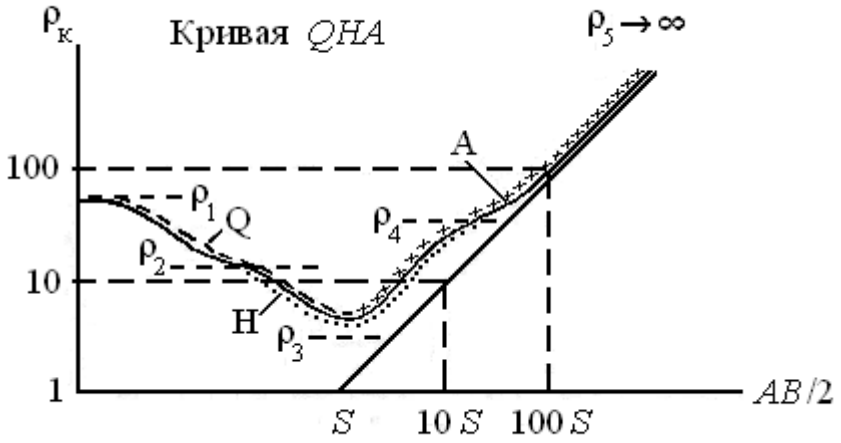


Рис. 4.1. Пример определения типа многослойной кривой

Удельное сопротивление верхнего слоя ρ_1 определяется по асимптоте к начальной части кривой. Аналогично определяется удельное сопротивление

самого нижнего слоя. Если это сопротивление много больше удельного сопротивления вышележащего слоя (в 50-100 раз и более), кривая выходит на асимптоту, наклонную к осям координат под углом 45º. В этом случае удельное сопротивление нижнего слоя полагают бесконечным. Удельное сопротивление промежуточных слоев определить нельзя, можно только дать их грубую оценку.

В случае бесконечного сопротивления нижнего слоя точка пересечения асимптоты к конечной части кривой с осью $AB/2$ (при $\rho_к=1$) имеет координату $AB/2=S$, равную суммарной проводимости разреза (см.рис.4.1). Значение S можно определить по любой точке асимптоты. Например, при $\rho_к=10$ Ом·м $AB/2=10S$, при $\rho_к=100$ Ом·м $AB/2=100S$ (см.рис.4.1). Иными словами, взяв любую точку асимптоты, можно найти $S= AB/2\ \rho_к$.

Задание

1. Определить тип каждой из заданных многослойных кривых.

2. Определить удельное сопротивление верхнего (ρ_1) и нижнего (ρ_N) слоев. Следует указывать конкретное значение N для вашего случая.

3. Для кривых, соответствующих разрезам с бесконечным удельным сопротивлением нижнего слоя, определить продольную проводимость S.

Литература по теме задания: /3/,сс.280-286; /4/,сс.125-126, 133-146; /6/,сс.120-124; /7/,сс.155-157.

Задание 5. Выбор источника тока и расчет питающих заземлений.

Целью работы является получение навыков оценки необходимых в заданных условиях параметров источника тока, выбора подходящего генератора или батарейного источника и расчета питающих заземлений.

В качестве исходных данных в задании указываются тип и размеры электроразведочной установки, ожидаемая величина кажущегося сопротивления, уровень помех $U_п$ в мВ/км, характер почвы и её удельное

сопротивление $\rho_п$, предполагаемая глубина забивки электродов ℓ и их диаметр. Применительно к этим условиям предполагается определить минимальное значение силы тока I_{AB} в питающей линии, обеспечивающее уверенное измерение разности потенциалов ΔU на приемных электродах и выбрать тип источника тока. Затем следует определить максимально допустимое сопротивление питающей линии R_{AB}, выбрать подходящий тип провода, рассчитать сопротивление одного электрода. Если сопротивление линии с одним электродом на каждом заземлении превышает допустимое, надо определить, сколько электродов следует устанавливать на каждом заземлении. При этом указать, на каком расстоянии в заземлении будут располагаться электроды и при расчете сопротивления заземления учесть коэффициент использования заземлений η. При расчете сопротивления одного электрода следует учитывать коэффициент качества контакта электрода с почвой *c*.

1. Оценка необходимой силы тока и выбор его источника. Оценка допустимого сопротивления питающей линии.

В реальных условиях измеряемая на приемных электродах разность потенциалов складывается из полезного сигнала и сигнала-помехи. Чтобы обеспечивалась требуемая инструкцией по электроразведке точность измерений не хуже 5%, полезный сигнал ΔU должен превышать помеху $U_п$ по крайней мере в 20 раз. Из этих сопротивлений и оценивается минимально необходимая сила тока в питающей линии:

$$\Delta U = \frac{I_{AB}\rho_к}{K} \geq 20U_п, \qquad (5.1)$$

$$I_{AB} \geq \frac{20KU_п}{\rho_к}, \qquad (5.2)$$

где *K*- коэффициент установки.

Под $U_п$ подразумевается разность потенциалов, вызванная помехами, на интервале, равном разносу приемных электродов *MN*. Если помеха задана на интервале другой длины, надо пересчитать её на свой размер *MN*. Например,

пусть помеха составляет 10 мВ/км, а разнос *MN* 50 м, т.е. 0,05 км. Очевидно, в этом случае на приемных электродах будет наблюдаться

$$U_{\text{п}}=10\cdot 0,\ 05 =0,5 \text{ мВ}.$$

Предположим, что измерения выполняются симметричной установкой с размерами *AB*=500 м, *MN*=50 м. Ожидаемое кажущееся сопротивление порядка 400 Ом·м. Для этой установки *K*=3886 м. Необходимая сила тока

$$I_{AB} \geq \frac{20 \cdot 3886 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}}{400} = 0{,}097 A = 97 \text{ мА}.$$

В данном примере необходимая сила тока имеет небольшую величину и в качестве источника тока можно использовать аппаратуру, имеющую маломощный генератор или батарею гальванических элементов. Рассмотрим оба варианта.

Вариант 1. Допустим, мы выбрали аппаратуру ЭРА-В-ЗНАК. Генератор этой аппаратуры имеет максимальную мощность *P*=40ВА (эта аппаратура переменного тока, поэтому мощность измеряется не в Вт, а в ВА). Максимальное напряжение генератора 500 В. Но надо проверить, какое напряжение возможно получить при нашей силе тока:

$$U_{\text{макс}} = \frac{P_{\text{макс}}}{I} = \frac{40}{0{,}097} = 412 \text{ В}.$$

Таким образом, следует ориентироваться на напряжение генератора не более 412 В. Максимально допустимое сопротивление питающей линии

$$R_{AB\text{макс}} = \frac{U}{I} = \frac{412}{0{,}097} = 4247 \text{ Ом}.$$

Вариант 2. Мы решили выполнять работу на постоянном токе и использовать батарейный источник питания. Входящий в комплект аппаратуры ЭРА-П источник тока может дать максимальный ток 20мА. Следовательно, он не подходит и придется работать с посторонним источником тока. Специальные электроразведочные батареи ГРМЦ в настоящее время не выпускаются. Поэтому придется монтировать батарею из находящихся в производстве гальванических элементов. Имеющие широкое распространение элементы 3336 (это квадратные фонарные элементы, которые правильнее было

бы назвать батареями, так как они состоят из 3 элементов) имеют рабочее напряжение 3,7В и позволяют получить ток силой до 350мА, что нас устраивает. Соберем батарею из 20 последовательно включенных элементов. Напряжение такой батареи будет 74 В. Сопротивление питающей линии в этом случае

$$R_{AB\ \text{ìàêñ}} = \frac{U}{I} = \frac{74}{0{,}097} = 763\ \text{Ом}.$$

Батарея будет иметь массу без упаковочного ящика 3 кг (вес одного элемента 150 г). Емкость выбранных нами элементов 0,5А·час. При нашем токе около 0,1А емкости батареи хватит на 5 часов непрерывной работы. Так как измерения на постоянном токе выполняются при кратковременных включениях тока в питающей линии, емкости батареи хватит для работы в течение нескольких недель. Если на некоторых участках сопротивление питающей линии будет уменьшаться и ток будет значительно увеличиваться, для экономии батарей следует уменьшить напряжение. Для этого целесообразно сделать у батареи секционированные выводы.

2. Расчет заземлений

Пусть заземления делаются в щебенистой песчано-глинистой почве с удельным сопротивлением $\rho_п$ =90 Ом·м. Из-за щебенки качество контакта электрода с почвой не очень хорошее и коэффициент качества контакта *c* примем равным 4. Электроды предполагается забивать на глубину ℓ=25 см. Диаметр электродов 2 см (радиус *a*=1 см). Тогда сопротивление одного электрода

$$R_э = 0{,}367 \cdot c \cdot \frac{\rho_п}{\ell} \lg \frac{2\ell}{a} = 0{,}367 \cdot 4 \frac{90}{0{,}25} \lg \frac{0{,}5}{0{,}01} = 898\,\text{Ом}.$$

Питающая линия состоит из двух заземлений и соединительного провода. В нашем случае, когда длина питающей линии невелика и сила тока тоже небольшая целесообразно взять легкий провод. Несмотря на его достаточно большое сопротивление, при малой длине и малой силе тока потеря

напряжения в проводе будет небольшой. Возьмем провод ГПСМПО с сопротивлением 50 Ом/км. При длине питающей линии *AB*=500 м сопротивление провода $R_{\text{пр}}$=25 Ом. Если каждое питающее заземление сделать из одного электрода, сопротивление питающей линии

$$R_{AB} = 2R_{\text{э}} + R_{\text{пр}} = 2 \cdot 898 + 25 = 1821\,\text{Ом}.$$

В рассмотренном выше *первом варианте* допустимое сопротивление питающей линии было 4247 Ом. Следовательно, при работе с аппаратурой ЭРА-В-ЗНАК достаточно каждое питающее заземление делать из одного электрода.

Во *втором варианте*, при работе с батарейным источником тока, сопротивление питающей линии по нашим расчетам должно быть не больше 763 Ом. В этом случае для уменьшения сопротивления линии заземления будем устраивать из нескольких электродов каждое. Рассчитаем допустимое сопротивление одного заземления:

$$R_{\text{заз.}} \le \frac{R_{AB} - R_{\text{пр}}}{2} = \frac{763 - 25}{2} = 369\,\text{Ом}$$

Когда в заземлении несколько электродов, они оказывают взаимное влияние и их эффективное сопротивление увеличивается тем больше, чем меньше расстояние *d* между электродами. Эффективное сопротивление каждого электрода в системе заземления

$$R_{\text{э эф.}} = \frac{R_{\text{э}}}{\eta}, \qquad (5.3)$$

где $\eta = \dfrac{d}{d + \ell}$ -коэффициент использования заземления.

Будем располагать электроды на расстоянии 4ℓ один от другого, т.е. в нашем случае на расстоянии 1 м. Тогда коэффициент использования заземления

$$\eta = \frac{1}{1 + 0{,}25} = 0{,}8$$

Эффективное сопротивление одного электрода в системе заземления

$$R_{\text{э эф.}} = \frac{R_{\text{э}}}{\eta} = \frac{898}{0{,}8} = 1122 \text{ Ом}.$$

Тогда количество электродов в одном заземлении

$$n = \frac{R_{\text{э эф.}}}{R_{\text{заз.}}} = \frac{1122}{369} = 3{,}04\,. \qquad (5.4)$$

Округлив это число, можно принять количество электродов в каждом заземлении равным 3.

Дополнение 1

Примерное значение коэффициента качества контакта электрода со средой для различных типов почв:

Болотистая почва c=1,5

Почва песчано-глинистая или песчаная влажная c=2

Почва песчано-глинистая сухая c=3

Почва песчаная сухая c=4

Почва песчано-глинистая со щебенкой c=4

Почва щебенистая c=5

Дополнение 2

Формула для коэффициента дипольной экваториальной установки достаточно громоздка. Поэтому часто при расчете коэффициента установки пользуются выражением для напряженности поля идеального диполя, а затем вводят “поправку за недипольность”.

Если расстояние между центрами диполей в экваториальной установке r,

$$E = E_0 = \frac{I\rho \cdot AB}{2\pi r^3}. \qquad (5.5)$$

При конечном размере приемного диполя, если полагать поле на интервале MN однородным,

$$\Delta U = \frac{I\rho \cdot AB}{2\pi r^3} \cdot MN\,. \qquad (5.6)$$

Решив это уравнение относительно ρ, найдем коэффициент установки:

$$\rho = \frac{\Delta U}{I} \cdot \frac{2\pi r^3}{AB \cdot MN}, \qquad (5.7)$$

$$K = \frac{2\pi r^3}{AB \cdot MN}. \qquad (5.8)$$

Чтобы учесть конечный размер диполей (“недипольность”) надо умножить это выражение для K на поправочный множитель. Номограмма для определения поправки за недипольность приведена в Инструкции по электроразведке /2/.

Если $AB<0{,}5r$ и $MN< 0{,}2r$, поправочный множитель отличается от единицы не более, чем на 10-11 процентов. При определении необходимой силы тока наши расчеты носят оценочный характер. Поэтому поправку за недипольность можно не вводить.

Задание

1. Оценить необходимую в заданных условиях силу тока в питающей линии.
2. Выбрать подходящий источник тока. Оценить максимально допустимое сопротивление питающей линии.
3. Выполнить расчет заземлений. Определить необходимое количество электродов на питающих заземлениях.
4. Выбрать подходящий тип провода.

Литература по теме задания: /1/; /4/, сс.49-58, 68; /6/, сс. 80-82, 84-89, 93-94; /7/, сс.103-105, 133-135; /8/.

Литература

1. Бобровников Л.З., Орлов Л.И., Попов В.А. Полевая электроразведочная аппаратура: Справочник. - М.: Недра, 1986. – 223 с.
2. Инструкция по электроразведке: Наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка / М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1984. – 352 с.
3. Матвеев Б.К. Электроразведка: Учеб. для вузов. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 352 с.
4. Редозубов А.А. Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки: Учебное пособие. - Екатеринбург: УГГГА, 2004. – 327 с.
5. Редозубов А.А. Конспект лекций по электроразведке. Часть 1. Нормальные электрические поля. Электроразведка крутослоистых сред. - Екатеринбург: УГГГА, 1994. – 100 с.
6. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах/Под ред.В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко. Книга первая. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. 438 с.
7. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка: Учебн. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. –М.: Недра, 1991. – 359 с.
8. Электроразведочная аппаратура – стенд в лаборатории электроразведки.

Авенир Александрович Редозубов
Косарева Гульшат Ахметовна

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых (РФ)
Часть I

Корректура кафедры геофизики

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16. Печать на ризографе.
Печ.л.__ Уч.-изд.л.___ Тираж____экз. Заказ №

издательство УГГУ
620144, г.Екатеринбург, ул.Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

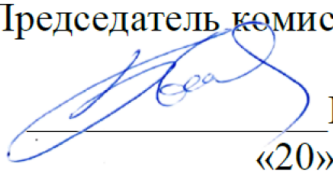
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 2

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Екатеринбург
2020

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 2

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Р33

Рецензент: *В. Е. Петряев*, канд. геол.-мин. наук, доцент
кафедры геофизики УГГУ

Методическое руководство рассмотрено на заседании кафедры и рекомендовано к изданию в УГГУ.

Редозубов А. А., Косарева Г. А.
Р33 ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА. Часть 2: методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий курса «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ). *А. А. Редозубов, Косарева Г. А.* Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 13 с.

Методическое руководство содержит необходимые указания по выполнению индивидуальных домашних заданий, соответствующих программе дисциплины «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ).

© Редозубов А. А., Косарева Г. А., 2020 ©
Уральский государственный горный
университет, 2020

Задание 1. Оценка интенсивности аномалий естественного поля фильтрационной природы

Для двух трехслойных разрезов I и II с плохо проводящим основанием заданы мощности h_1 и h_2 и удельные сопротивления ρ_1 и ρ_2 двух верхних слоев. По промежуточному слою происходит фильтрация подземных вод. Длина участка фильтрации L. Разность потенциалов между его началом и концом в обоих случаях одинакова. В котором случае аномалия естественного поля будет больше? Объясните, почему (сделайте необходимые расчеты).

Воспользовавшись формулой (6.2) в [2], оцените напряженность поля на поверхности земли, полагая длину участка фильтрации равной 1000 м, а разность потенциалов между его началом и концом (внутри слоя) равной 500 мВ. Оцените разность потенциалов, измеряемую в приемной линии MN длиной 50 м. Оцените разность потенциалов между началом и концом участка фильтрации на поверхности земли и сравните её с разностью потенциалов в фильтрующем слое.

Таблица 1

Варианты задания 1

Номер варианта	Разрез I				Разрез II			
	h_1	h_2	ρ_1	**Ошибка! Ошибка связи.**$_2$	h_1	h_2	ρ_1	**Ошибка! Ошибка связи.**$_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	15	120	45	10	10	10	30
2	15	10	30	5	15	15	5	30
3	20	10	5	20	10	25	50	5
4	10	10	50	5	20	15	10	15
5	12	12	3	12	12	12	12	3
6	6	10	30	5	8	8	4	16
7	8	8	40	10	8	10	12	10
8	5	10	40	5	10	10	5	20
9	25	10	15	20	25	10	100	10
10	20	5	15	15	20	5	15	5

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	9	20	18	10	9	20	4,5	10
12	20	20	40	10	20	15	10	10
13	20	10	10	10	20	10	60	10
14	14	5	7	6	14	5	70	6
15	10	10	100	5	10	10	10	5
16	20	10	10	20	20	10	80	20
17	20	20	100	5	20	20	10	5
18	5	30	25	5	15	30	7,5	30
19	20	12	10	12	20	12	120	12
20	15	15	5	15	15	15	75	15
21	15	20	75	10	15	20	15	10
22	14	5	10	20	14	15	10	5
23	12	12	60	10	12	12	5	10
24	18	10	6	10	18	10	90	10
25	7	14	35	7	7	14	35	35
26	20	5	10	10	20	5	100	10
27	20	20	160	10	20	20	10	10
28	10	10	80	10	10	10	5	10
29	18	4,5	9	9	18	4,5	45	9
30	16	16	80	8	16	16	8	8
31	26	5	13	5	26	5	52	5
32	30	7	15	7	30	7	90	7
33	25	10	5	5	25	10	50	5
34	5	10	25	5	5	10	15	15
35	17	5	8,5	5	17	5	34	5
36	11	9	44	6	11	9	5,5	6
37	21	6	10,5	6	21	6	42	6
38	6	8	24	12	6	8	9	12
39	15	10	45	5	15	10	10	5
40	20	8	15	8	20	8	200	8
41	7	10	21	5	7	10	21	15
42	28	30	14	6	28	30	3,5	6

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	28	16	7	16	28	16	112	16
44	9	17	90	8,5	9	17	9	8,5
45	17	15	68	5	17	15	8,5	5

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2] с. 225 - 228, или [1] с. 41 - 42, или [3] с. 45 - 46.

Задание 2. Расчет и сопоставление интенсивности аномалий $\eta_к$ над изометричными объектами при поверхностной и объемной поляризации

Рассчитать графики над объектами, имеющими форму шара, в случае поверхностной и объемной поляризации. В обоих случаях объекты имеют одинаковые размеры и залегают на одинаковой глубине. Для расчета $\eta_{ка}$ можно использовать формулы (6.35) и (6.41) в [2]. В случае поверхностной поляризации удельное сопротивление объекта можно принять равным нулю, так как для массивных руд оно измеряется долями Ом·метра. Чтобы рассчитать аномалию от объемно-поляризующегося объекта, предварительно определите его поляризуемость по формуле (6.38) в [2]. Расчеты выполните для профиля, проходящего над центром объекта. Длину профиля выберите такой, чтобы на графике были экстремумы противоположного знака по обе стороны объекта. Рассчитывать следует аномальные значения $\eta_{ка}$, а затем прибавить к ним поляризуемость вмещающей среды η_1=2 %. Сравните интенсивности аномалий для случаев поверхностной и объемной поляризации и объясните полученное их соотношение. Кроме графиков $\eta_к$ постройте график $\rho_к$ (E). Для вычислений можно воспользоваться формулой (5.17) в [2] или формулой (6.32), положив в последней λ=0.

При выполнении расчетов во всех случаях необходимо учесть границу раздела «земля – воздух» (некоторые формулы в литературе приведены для безграничной среды). Опишите вид всех графиков.

Таблица 2

Варианты задания 2

Номер вар.	*a*, м	*h*, м	ρ_1, Ом·м	ρ_2, Ом·м	υ, %	λ, м	*Номер* вар.	*a*, м	*h*, м	ρ_1, Ом·м	ρ_2, Ом·м	υ, %	λ, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	100	160	200	60	12	0,3	24	100	160	400	200	12	0,3
2	50	75	100	25	15	0,25	25	90	135	300	90	10	0,2
3	75	150	150	60	10	0,2	26	70	105	200	80	9	0,25
4	100	170	300	100	7	0,15	27	60	120	250	75	10	0,2
5	80	120	250	50	20	0,4	28	80	120	150	60	14	0,3
6	70	110	120	30	16	0,35	29	50	100	100	35	12	0,25
7	90	145	200	65	9	0,1	30	75	150	200	60	13	0,2
8	60	90	140	56	8	0,2	31	90	155	300	75	17	0,3
9	55	90	180	65	6	0,25	32	80	135	250	75	16	0,25
10	110	180	200	60	11	0,15	33	70	120	400	100	15	0,2
11	100	175	100	20	13	0,3	34	60	90	120	40	11	0,15
12	80	145	160	48	12	0,25	35	50	100	100	35	14	0,25
13	75	150	300	75	18	0,35	36	100	150	400	160	12	0,2
14	100	150	400	80	16	0,25	37	80	130	350	140	10	0,2
15	70	120	350	175	20	0,2	38	90	155	300	90	12	0,25
16	80	130	500	250	10	0,1	39	70	120	200	80	13	0,3
17	60	90	250	75	12	0,25	40	60	95	150	60	15	0,25
18	90	180	400	120	14	0,3	41	50	75	100	35	14	0,2
19	100	165	200	80	12	0,2	42	80	145	180	60	13	0,25
20	50	80	250	50	10	0,15	43	75	135	300	120	18	0,3
21	60	100	300	120	9	0,2	44	90	145	250	100	16	0,2
22	70	140	200	80	12	0,25	45	100	165	300	120	15	0,15
23	80	135	100	35	20	0,35	46	50	90	200	80	14	0,2

Примечание. *a* - радиус объекта; *h* - глубина центра объекта; ρ_1 - удельное сопротивление вмещающей среды; ρ_2 - удельное сопротивление объекта; υ - содержание рудной вкрапленности в объекте; λ - коэффициент поверхностной поляризации объекта.

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2], с. 245 - 251; с. 182; с. 185 - 186.

Задание 3. Расчет кажущегося сопротивления на поверхности анизотропной среды

Заданы продольное ρ_t и поперечное ρ_n удельные сопротивления анизотропной среды и угол падения слоистости α. Требуется определить продольное $\rho_{кt}$ и поперечное $\rho_{кn}$ кажущиеся сопротивления и кажущийся коэффициент анизотропии $\lambda_к$. Сравните полученные результаты со значениями этих параметров при вертикальном падении слоистости ($\alpha = 90^º$). Сравните отношения $\rho_{кt}/\rho_{кn}$ с отношением ρ_t/ρ_n. Объясните причину различия этих отношений.

Рассчитайте значения кажущегося сопротивления при ориентировке установки под углом 30˚ и 60˚ к простиранию слоистости. Постройте полярную диаграмму $\rho_к$. Рассчитайте отношение осей изолинии потенциала точечного источника. Как соотносятся форма полярной диаграммы $\rho_к$ и форма изолинии потенциала точечного источника?

Таблица 3

Варианты задания 3

Номер вар.	ρ_t Ом·м	ρ_n Ом·м	α град.	*Номер* вар.	ρ_t Ом·м	ρ_n Ом·м	α град.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	200	65	24	500	2500	35
2	300	500	50	25	75	750	30
3	200	800	70	26	120	500	65
4	50	300	45	27	220	880	70
5	150	1500	30	28	200	1000	60
6	500	2000	60	29	180	900	50
7	250	1250	50	30	250	2500	45
8	700	2100	75	31	50	250	35
9	80	400	40	32	65	400	75
10	120	600	55	33	80	600	40
11	75	450	45	34	90	400	50
12	30	300	25	35	170	850	55

Окончание табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8
13	60	540	35	36	220	660	70
14	100	500	40	37	500	1500	65
15	200	1200	50	38	350	1000	60
16	90	720	45	39	40	200	45
17	400	2000	60	40	60	360	50
18	350	3500	70	41	200	1800	30
19	600	3000	65	42	250	1500	40
20	100	300	60	43	800	2400	70
21	160	800	55	44	70	500	45
22	240	2400	40	45	110	900	30
23	400	2500	35				

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2], с. 292 - 293 и с. 288 - 289 или в [1], с. 177- 178.

Задание 4. Оценка влияния анизотропии на результаты ВЭЗ

Предлагается три типа задания. В первом и третьем типах по результатам интерпретации кривых ВЭЗ и данным об анизотропии горных пород необходимо определить истинные мощности слоев. Во втором типе задания предлагается определить значения коэффициентов анизотропии слоев по результатам интерпретации кривых ВЭЗ и данным бурения.

1-й тип

По заданным мощностям h_1 и h_2 двух верхних слоев трехслойного разреза, определенным при интерпретации ВЭЗ ($h_{ВЭЗ}$), и коэффициентам анизотропии λ_1 и λ_2 определить истинные мощности этих слоев. Построить колонки по данным интерпретации ВЭЗ и по исправленным за влияние анизотропии значениям мощности.

2-й тип

По заданным мощностям двух верхних слоев трехслойного разреза, определенным при интерпретации ВЭЗ ($h_{ВЭЗ}$) и истинным мощностям слоев ($h_{ист.}$), полученным по данным бурения, определить коэффициенты анизотропии слоев. Построить колонки для истинных мощностей слоев и мощностей, определенных по ВЭЗ.

3-й тип

По заданным мощностям двух верхних слоев трехслойного разреза с крутым падением сланцеватости, определенным при интерпретации ВЭЗ ($h_{ВЭЗ}$) и кажущемуся коэффициенту анизотропии $\lambda_к$ определить истинные мощности слоев. Коэффициенты анизотропии всех слоев и углы падения полагать одинаковыми. Построить колонки для истинных мощностей слоев и мощностей, определенных по ВЭЗ.

Таблица 4

Варианты 1-го типа задания 4

Номер вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	λ_1	λ_2	*Номер* вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	λ_1	λ_2
1	25	110	1,3	1,7	25	130	400	1,6	2,3
4	60	300	1,25	1,9	28	90	450	1,3	1,7
7	100	500	1,5	2,0	31	120	500	1,4	1,8
10	150	600	1,4	1,6	34	60	250	1,5	2,5
13	50	250	1,5	2,5	37	100	700	1,8	1,4
16	120	350	1,8	1,3	40	140	800	1,45	1,7
19	80	200	1,3	2,2	43	80	300	1,6	2,4
22	70	150	2,0	1,5	46	150	500	1,8	1,4

Таблица 5

Варианты 2-го типа задания 4

Номер вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$	*Номер* вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$
2	25	15	120	80	26	140	100	800	600
5	100	50	500	300	29	120	90	600	400
8	80	60	200	100	32	100	50	500	400

Окончание табл. 5

Номер вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$	*Номер* вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$
11	120	80	400	200	35	80	60	400	200
14	150	100	600	450	38	60	50	300	200
17	60	40	250	100	41	150	120	600	300
20	50	40	300	200	44	120	60	500	400
23	70	50	150	100	47	60	120	700	350

Таблица 6

Варианты 3-го типа задания 4

Номер варианта	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$\lambda_к$	*Номер* варианта	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$\lambda_к$
3	15	30	1,5	27	30	60	2,0
6	20	50	1,8	30	25	150	2,5
9	16	20	2,0	33	17	85	1,7
12	10	20	1,25	36	20	40	2,0
15	12	25	1,5	39	16	32	1,6
18	14	60	2,0	42	18	54	1,8
21	18	90	1,8	45	10	30	2,0
24	13	65	1,3	48	14	70	1,4

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2], с. 294 - 296 или в [3], с. 173 - 174 (1-й и 2-й типы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матвеев, Б. К.* Электроразведка: учебн. для вузов. – 2-е изд., перераб.и доп. *Б. К. Матвеев.* –М.: Недра, 1990. - 368 с.

2. *Редозубов, А. А.* Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки: учебное пособие. *А. А. Редозубов.* – Екатеринбург: УГГГА, 2004. - 327 с.

3. *Якубовский, Ю. В., Ренард И. В.* Электроразведка: учебн. для вузов. – 3-е изд., прераб. и доп. *Ю. В Якубовский., И. В. Ренард*– М.: Недра, 1991. - 359 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Задание 1. Оценка интенсивности аномалий естественного поля фильтрационной природы…….. 3

Задание 2. Расчет и сопоставление интенсивности аномалий $\eta_к$ над изометричными объектами при поверхностной и объемной поляризации…..... 5

Задание 3. Расчет кажущегося сопротивления на поверхности анизотропной среды. 7

Задание 4. Оценка влияния анизотропии на результаты ВЭЗ. 9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 12

Авенир Александрович Редозубов
Гульшат Ахметовна Косарева

Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

часть 2

Корректура кафедры геофизики

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16. Печать на ризографе.
Печ.л.__ Уч.-изд.л.___ Тираж____экз. Заказ №

издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

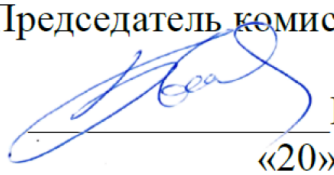
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 3

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности
21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Екатеринбург
2020

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 3

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка» для студентов
специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых (РФ)

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Р33

Рецензент: *В. Е. Петряев*, канд. геол.-мин. наук, доцент
кафедры геофизики УГГУ

Методическое руководство рассмотрено на заседании кафедры и рекомендовано к изданию в УГГУ.

Редозубов А. А., Косарева Г. А.
Р33 ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА. Часть 3: *Редозубов А. А., Косарева Г. А.* Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ).

Методическое руководство содержит необходимые указания по выполнению индивидуальных домашних заданий, соответствующих программе дисциплины «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ). Исходные данные к заданиям включены в руководство.

© Редозубов А. А., Косарева Г. А., 2020
© Уральский государственный горный университет, 2020

Задание 1. Оценка поглощения энергии и длины волны электромагнитного поля в квазипроводниках

Условия распространения переменного электромагнитного поля в среде определяются комплексной величиной, называемой волновым числом. Волновое число зависит от физических свойств среды и частоты поля. Оно определяется выражением

$$k = \omega\sqrt{\mu\dot{\varepsilon}} = \omega\sqrt{\mu\left(\varepsilon + i\frac{\gamma}{\omega}\right)} = a + ib, \qquad (1.1)$$

где $\omega=2\pi f$ - угловая частота;

μ - абсолютная магнитная проницаемость среды;

γ - удельная электропроводность среды;

$\dot{\varepsilon} = \varepsilon + i\frac{\gamma}{\omega}$ - комплексная диэлектрическая проницаемость.

Вещественная a и мнимая b части волнового числа имеют определенный физический смысл. Вещественная часть волнового числа определяет длину волны и скорость распространения поля в среде, от мнимой части зависит поглощение энергии поля средой и, следовательно, скорость затухания поля при удалении от источника.

Поглощение энергии электромагнитного поля средой происходит вследствие тепловых потерь вихревых токов, индуцированных магнитной составляющей поля. Мнимая часть волнового числа представляет собой коэффициент поглощения, которое происходит по закону e^{-br} (r – расстояние, e – основание натурального логарифма). Из-за поглощения энергии средой при удалении от источника поле затухает в e^{br} раз быстрее, чем это происходит только из-за геометрического фактора рассеивания энергии (как происходит в поле постоянного тока). Единицей измерения коэффициента поглощения является непер деленный на метр (Нп/м).

В зависимости от коэффициента поглощения находится глубина

проникновения поля в землю. Для её характеристики введен параметр $\delta = \frac{1}{b}$, называемый глубиной проникновения или толщиной скин-слоя. Он равен мощности слоя, в котором за счёт поглощения энергии поле ослабляется в е раз.

Комплексная диэлектрическая проницаемость $\dot{\varepsilon}$ характеризует способность среды пропускать как токи проводимости, так и токи смещения. Вещественная часть комплексной диэлектрической проницаемости ε определяет способность среды пропускать токи смещения, мнимая часть γ/ω – токи проводимости. От соотношения этих частей зависит соотношение между токами смещения и токами проводимости. Если $\varepsilon >> \gamma/\omega$, мнимой частью комплексной диэлектрической проницаемости можно пренебречь, полагая $\dot{\varepsilon} \approx \varepsilon$. Это означает пренебрежение токами проводимости, которые в данном случае очень малы и, следовательно, в среде практически существуют только токи смещения. Такие среды называются *квазидиэлектриками*. Так как при протекании тока смещения тепловых потерь нет, в квазидиэлектриках коэффициент поглощения можно полагать равным нулю. Типичным квазидиэлектриком является воздух.

Если $\varepsilon << \gamma/\omega$, можно пренебречь вещественной частью $\dot{\varepsilon}$, полагая таким образом, что в среде существует только токи проводимости. Такие среды называются *квазипроводниками*. Так как мнимая часть комплексной диэлектрической проницаемости зависит от частоты поля, одна и та же среда, в зависимости от частоты, может быть или квазипроводником, или квазидиэлектриком, или занимать промежуточное положение между этими крайними случаями. В звуковом диапазоне частот практически все горные породы являются квазипроводниками.

Задание

1. Пользуясь общим выражением волнового числа формула (1.1), найти выражения вещественной и мнимой частей волнового числа для квазипроводника.

2. Для заданных значений электромагнитных параметров среды и частоты найти коэффициенты поглощения.

3. Определить, во сколько раз на заданном расстоянии *r* из-за поглощения энергии средой поле затухает быстрее по сравнению со случаем, когда затухание происходит только за счёт геометрического рассеяния энергии.

4. Определить глубину проникновения поля (толщину скин-слоя).

5. Рассчитать длину волны и скорость распространения поля. Сравнить их со случаем, когда поле распространяется в вакууме (воздухе).

6. Сделать вывод, как зависят рассчитанные величины от удельного сопротивления среды и частоты поля.

Литература по теме задания: [1], с. 8 – 12; [3], с. 52 – 56.

Таблица 1

Исходные данные к заданию

Номер вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м
1	100	1564,8	100	**8**	2000 20	6252,4	100	**15**	40	6254,8	100
2	10	78 0,1	100	**9**	200 5	78	75	**16**	30	6254,8	100
3	500 10	312	50	**10**	250 5	0,1	100	**17**	500 10	625	100
4	1000 10	625	150	**11**	5	156 0,3	50	**18**	750	321 9,8	150
5	20	1569,8	50	**12**	250	625 0,6	100	**19**	1000 10	156	100
6	150	312 1,2	50	**13**	300 12	78	100	**20**	100	312 0,3	200
7	50	156 1,2	25	**14**	2500 20	312	200	**21**	20	78 1,2	100

Окончание табл. 1

Номер вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м
22	1500 15	156	150	**31**	250 4	19,5	100	**40**	3	78 0,6	50
23	1500 7	312	100	**32**	45	312 0,6	70	**41**	4	125 0,6	75
24	10	39 0,3	150	**33**	25	625 2,4	100	**42**	12	312 0,3	100
25	5	78 0,15	100	**34**	200 4	156	150	**43**	900 9	156	100
26	800 8	125	200	**35**	750 3	312	100	**44**	1200 12	625	100
27	1200 5	125	200	**36**	4	78 0,3	100	**45**	60	1250 4,8	100
28	30	156 9,8	100	**37**	7	125 0,1	50	**46**	25	312 4,8	50
29	10	312 0,3	100	**38**	800 4	156	100	**47**	1000 6	78	100
30	1500 10	1250	100	**39**	75 3	125	50	**48**	1200 3	125	100

Примечание. Принять магнитную проницаемость среды $\mu=\mu_0$.

Задание 2. Построение и интерпретация кривой магнитотеллурического зондирования

В магнитотеллурическом зондировании (МТЗ) изучается естественное переменное электромагнитное поле. Магнитную компоненту образуют вариации магнитного поля Земли. Электрическую компоненту образуют индуцированные магнитными вариациями вихревые токи. В качестве фундаментальной модели, на которой основывается интерпретация результатов

МТЗ, принимается модель Тихонова – Каньяра. В этой модели магнитотеллурическое поле аппроксимируется плоской волной, распространяющейся вертикально сверху вниз, а геоэлектрический разрез полагается горизонтально-слоистым.

Глубина проникновения поля в землю зависит от его частоты. Поэтому, выполняя измерения при разных частотах, можно получить информацию об электрических свойствах горных пород на различной глубине, аналогично тому, как это делается при электрическом зондировании на постоянном токе. Только в отличие от зондирования на постоянном токе, где глубина исследования зависит от размера установки, в МТЗ параметром, контролирующим глубину исследования, является частота (период) вариаций. Практически, чтобы получить результаты измерений при разных периодах вариаций, производят непрерывную регистрацию поля в течение некоторого времени, обычно несколько часов.

Так как интенсивность магнитотеллурического поля непрерывно меняется, чтобы исключить влияние колебаний уровня поля измеряют обе компоненты – электрическую и магнитную, а затем вычисляют их отношение, называемое *импедансом*:

$$\dot{Z} = \frac{\dot{E}}{\dot{H}}, \qquad (2.1)$$

где $\dot{E}$ – напряженность электрического поля;

$\dot{H}$ – напряженность магнитного поля.

По измеренному значению импеданса рассчитывают кажущееся сопротивление, которое в МТЗ обозначают символом ρ_T. Импеданс, как и напряженности компонент поля, комплексная величина. Для вычисления кажущегося сопротивления можно использовать модуль импеданса или его фазу. *Фаза импеданса* – это разность фаз напряженностей электрического и магнитного полей.

Измерение напряженности электрического поля производят с помощью двух взаимно перпендикулярных заземленных приемных линий. Для измерения напряженности магнитного поля используют два магнитометра, измеряющих горизонтальную составляющую. Ориентировка магнитометров должна совпадать с ориентировкой приемных линий. Такая методика позволяет определить величину и направление напряженности в любой момент времени.

Вычисления кажущегося сопротивления по амплитудным значениям E и H производится по формуле

$$\rho_T = 0{,}2T|\dot{Z}|^2. \qquad (2.2)$$

Для вычисления импеданса по этой формуле напряженность электрического поля E выражают в мВ/км, напряженность магнитного поля – в нанотеслах. Так как кроме горизонтальной слоистости обычно существует и неоднородность среды в горизонтальном направлении, модуль импеданса зависит от ориентировки поля в момент измерения. Поэтому при вычислении $\rho_т$ обычно используют эффективный импеданс $|\dot{Z}_{эф.}|$, имеющий смысл среднего геометрического значения модуля импеданса для различных ориентировок поля.

По вычисленным значениям ρ_T строят кривую зондирования в логарифмическом масштабе. По оси абсцисс откладывают $\sqrt{T}$, по оси ординат - ρ_T. Построение кривой МТЗ, как зависимости ρ_T. от $\sqrt{T}$, а не от T, вызвано тем, что глубина исследования пропорционально $\sqrt{T}$ (см. [1, с. 29]). Кривые МТЗ качественно имеют вид, подобный кривым ВЭЗ, и образуют те же типы. Их интерпретация в принципе также аналогична интерпретации кривых ВЭЗ. Отличием от кривых зондирования на постоянном токе является наличие интерференционного экстремума в начальной части кривых (если измерения выполнены начиная с достаточно малых периодов). Если опорный горизонт имеет очень большое сопротивление, кривые МТЗ также входят на прямолинейную асимптоту. Только асимптота кривых МТЗ в этом случае образует с осью $\sqrt{T}$ угол 63º25′, а не 45º, как у кривых ВЭЗ.

В случае высокого сопротивления опорного горизонта по асимптоте кривой зондирования можно определить суммарную продольную проводимость S надопорной толщи. Для этого асимптота продолжается до оси $\sqrt{T}$ и при ρ_T =1 Ом·м определяется координата точки пересечения асимптоты с осью $\sqrt{T_s^{(1)}}$ (рис. 2.1). Продольная проводимость разреза

$$S = 356\sqrt{T_s^{(1)}}\,. \qquad (2.3)$$

Величину $\sqrt{T_s}$ можно определить и при любом другом значении $\rho_т$. Например, если она определена при ρ_T=10 Ом·м ($\sqrt{T_s^{(10)}}$), продольная проводимость надопорной толщи

$$S = 114\sqrt{T_s^{(10)}}\,. \qquad (2.4)$$

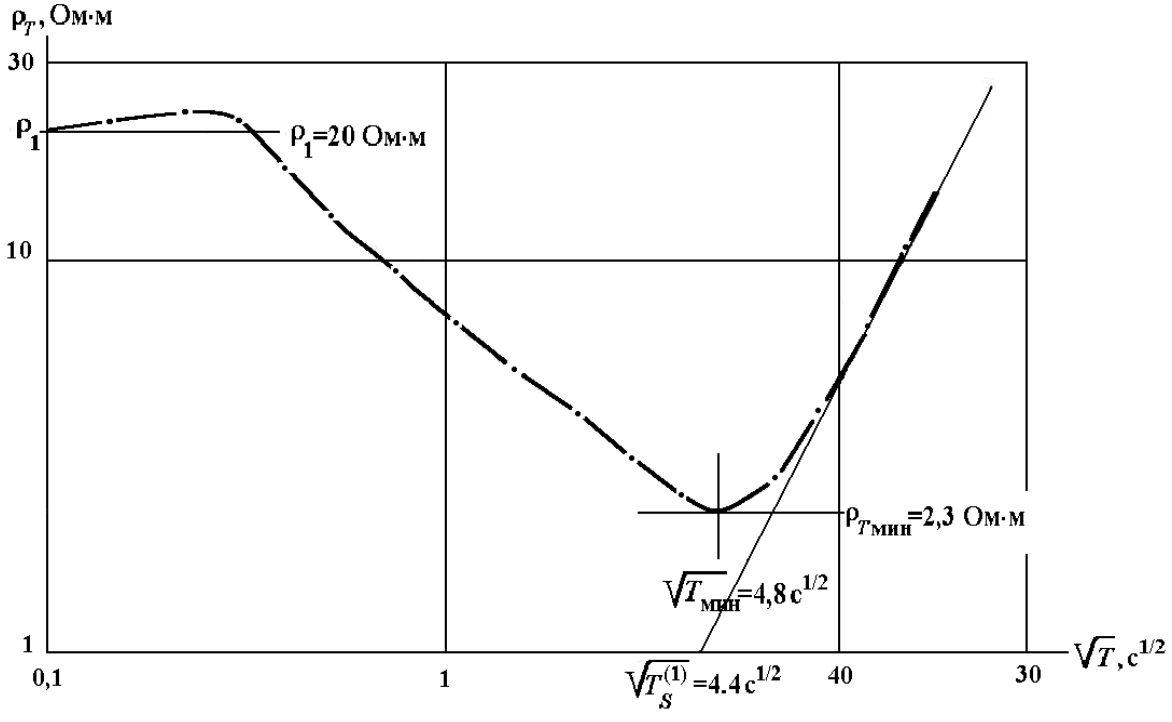


Рис. 2.1. Пример кривой МТЗ для разреза с бесконечно большим сопротивлением нижнего слоя

Когда кривая МТЗ имеет четко выраженный минимум и его координаты определяются достаточно точно, приближенное значение S можно найти по формуле

$$S \approx 520 \sqrt{T_{\text{мин}} / \rho_{T\text{мин}}}\,, \qquad (2.5)$$

где $T_{\text{мин}}$ и $\rho_{T\,\text{мин}}$ – значения T и ρ_T в точке минимума.

Этот способ дает удовлетворительные результаты, если относительное влияние вышележащих слоев на область минимума кривой небольшое и координаты точки минимума определяются главным образом параметрами проводящего слоя. Такие условия существуют, когда мощность проводящего слоя значительно превышает мощность вышележащей толщи, и в этой толще нет слоев с высоким удельным сопротивлением. При получении значительной разницы между значениями *S*, полученными двумя способами, предпочтение следует отдавать способу определения *S* по асимптоте, как более точному.

Если есть данные о среднем продольном удельном сопротивлении надопорной толщи $\rho_{t\,\text{ср}}$, можно от продольной проводимости перейти к глубине до опорного горизонта:

$$H = \rho_{t\,\text{ср}} \cdot S. \qquad (2.6)$$

Когда мощность хорошо проводящего слоя достаточно велика, за приближенное значение $\rho_{t\,\text{ср}}$ можно принять величину ρ_T в точке минимума. Конечно, точность определения глубины до опорного горизонта в этом случае будет ниже. Погрешность определения *H* будет тем больше, чем меньше относительная мощность проводящего слоя. Большая разница значений *S*, полученных двумя способами, как уже указывалось, свидетельствует о сильном влиянии на кривую в области минимума вышележащих пород. Очевидно, в этом случае использовать значение ρ_T в точке минимума для оценки глубины до опорного горизонта не следует.

Рассмотрим интерпретацию кривой МТЗ, приведенной на рис. 2.1. Кривая четырехслойная типа QH. Начальная асимптота кривой ρ_T =20 Ом·м определяет удельное сопротивление первого слоя. Конечная асимптота наклонена под углом 63,5º, что указывает на весьма большое, практически бесконечное удельное сопротивление нижнего слоя (опорного горизонта). Асимптота к конечной ветви кривой пересекает ось периодов при ρ_T =1 Ом·м в

точке с координатой $\sqrt{T_s^{(1)}}$ =4,4$c^{½}$. Следовательно, продольная проводимость надопорной толщи

$$S = 356\sqrt{T_s^{(1)}} = 356 \cdot 4{,}4 = 1566 \text{ См.}$$

Кривая имеет четкий минимум с координатами $\sqrt{T_{\text{мин}}} = 4{,}8c^{½}$ и $\rho_{T\text{мин}}$=2,3 Ом·м. Продольная проводимость, определенная по координатам точки минимума кривой МТЗ

$$S = 520\sqrt{T_{\text{мин}} / \rho_{T\text{мин}}} = 520\frac{4{,}8}{\sqrt{2{,}3}} = 1646 \text{ См.}$$

Таким образом, в рассматриваемом случае разница в определении S двумя способами составляет 5,1 %.

Приняв значение $\rho_т$ в точке минимума за среднее продольное удельное сопротивление надопорной толщи, оценим глубину залегания опорного горизонта:

$$H = \rho_{t\text{ср}} \cdot S \approx \rho_{T\text{мин}} \cdot S = 2{,}3 \cdot 1566 = 3660 \text{ м.}$$

Задание

1. По заданным значениям $|Z_{\text{эф.}}|$ рассчитать значения кажущегося сопротивления ρ_T.

2. Построить кривую МТЗ в логарифмическом масштабе со стандартным модулем (62,5 мм). Определить тип кривой МТЗ. Определить удельное сопротивление верхнего и нижнего слоев разреза. Объяснить причину появления небольшого экстремума при малых значениях периода.

3. Провести асимптоту к конечной ветви кривой МТЗ и определить координату её пересечения с осью периодов при ρ_T=1 Ом·м или ρ_T=10 Ом·м. Найти продольную проводимость надопорной толщи. Проводить асимптоту необходимо возможно точнее, так как от этого зависит точность определения S. Лучше всего угол 63º25′строить по его тангенсу, который равен 2.

4. Определить S по $\rho_{T\text{мин}}$ и $T_{\text{мин}}$ и сравнить со значением, полученным по асимптоте. Оценить относительное расхождение результатов, полученных этими двумя способами.

5. Оценить примерную глубину до опорного горизонта, приняв за $\rho_{t\text{ср}}$ значение ρ_T в точке минимума.

Литература по теме задания: [1], с. 36, с. 42 - 43.

Задание 3. Приближенное построение аномалии от проводящего объекта в индуктивных методах

В низкочастотных индуктивных методах измеряется э. д. с, наведенная в приемном контуре (петле значительных размеров или небольшой многовитковой рамке) переменным магнитным полем. Магнитное поле создается током, пропускаемым по другому контуру, – генераторному. Поле, создаваемое током в генераторном контуре, называется *первичным* (H_1). Если в объеме, в котором возбуждено первичное поле, находится проводящий объект, в нем возбуждается вихревой ток, создающий вторичное поле (H_2). Отклонения от первичного поля представляют собой аномалии, по которым можно установить наличие объектов. Такие аномалии называются *вихревыми*. Они имеют наибольшее значение в рудной электроразведке. Кроме вихревых, существуют и другие типы аномалий (см. [2, с. 5 - 7]). Результаты низкочастотных методов представляют в виде отношения H_2/H_1, представляющего собой не что иное, как относительную интенсивность аномалии. Обычно эту величину измеряют в процентах.

Рассмотрим механизм формирования вихревой аномалии на примере наклонного проводящего пласта в однородном первичном магнитном поле H_1. Пусть верхняя кромка пласта располагается на глубине h_1. Длина пласта по падению d равна $3{,}6h_1$, угол наклона 34º. Тогда нижняя кромка пласта

располагается на глубине $h_2=3h_1$. Первичное поле H_1 ориентируем вертикально, в рассматриваемый момент времени снизу вверх (рис. 3.1). Практически близкое к однородному вертикальное первичное поле создается в средней части генераторной петли, лежащей на поверхности земли.

В проводящем пласте первичное поле возбуждает вихревой ток. Так как мощность пласта мала, вихревой ток растекается в плоскости пласта. В первом приближении вихревые токи в пласте можно аппроксимировать двумя линейными токами, текущими вдоль кромок пласта. Направление токов

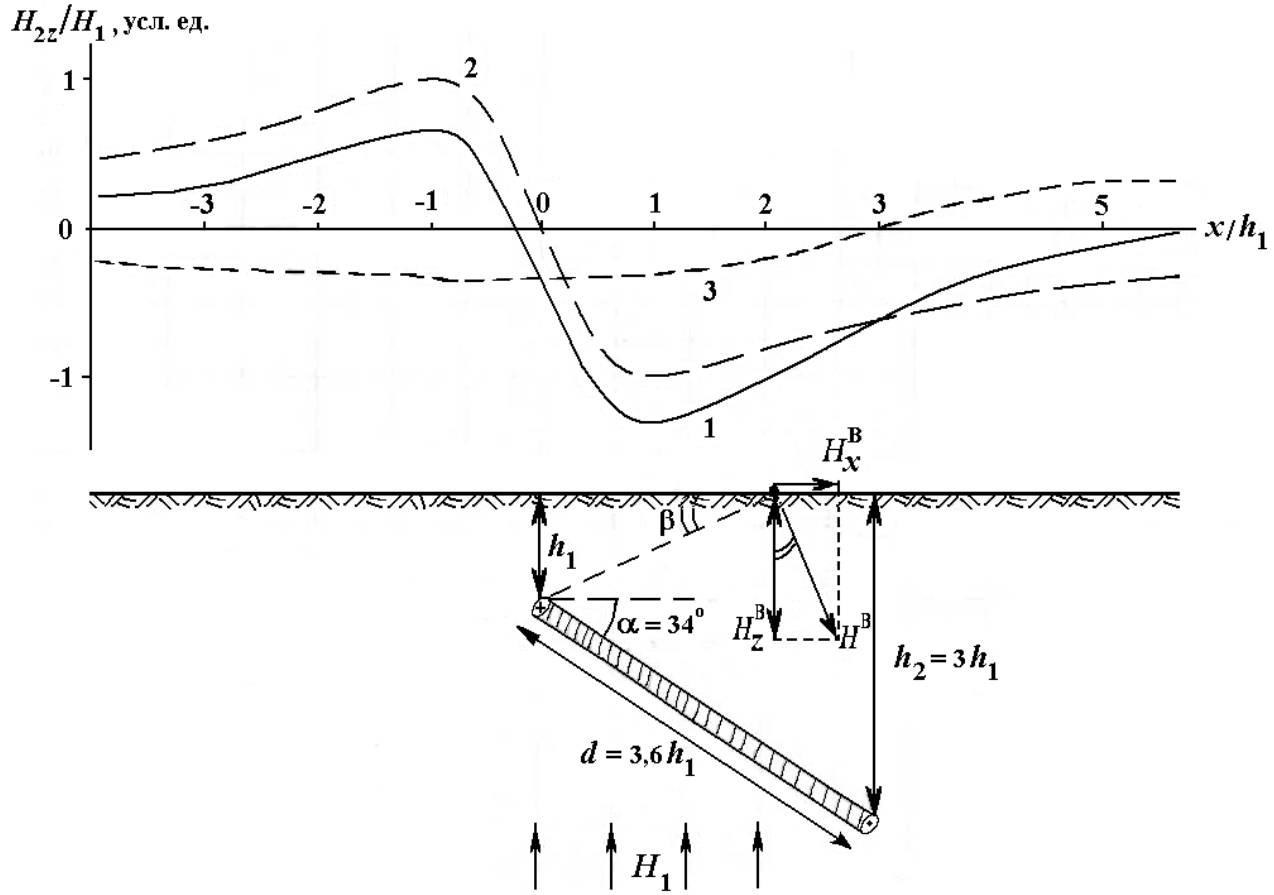


Рис. 3.1. Пример приближенного построения графика над H_{2z} над наклонным пластом:
1 – график H_{2z} от пласта; 2 – график H^B_z от верхнего линейного тока;
3 – то же от нижнего линейного тока

определяется по правилу левого винта. В нашем случае вдоль верхней кромки пласта ток течет от нас, вдоль нижней кромки – к нам. Полагая, что по простиранию длина пласта достаточно велика, можно пренебречь влиянием токов, текущих вдоль боковых кромок и рассматривать аномалию от пласта,

как сумму полей от линейных токов, совмещенных с верхней и нижней кромками.

По закону Био - Савара магнитное поле длинного линейного тока описывается уравнением $H=I/r$, где I – сила тока, r – расстояние от тока до точки наблюдений. Полагая $I=1$, в нашем случае напряженность магнитного поля тока, текущего по верхней кромке пласта, $H^{\text{В}} = 1/\sqrt{x^2 + h_1^2}$. По правилу правого винта поле ориентировано по направлению движения часовой стрелки, т. е. справа от верхней кромки пласта сверху вниз, слева – снизу вверх. Вертикальная компонента поля верхнего тока

$$H_z^{\text{В}} = H^{\text{В}} \cos\beta = H^{\text{В}} \frac{x}{\sqrt{x^2 + h_1^2}} = \frac{x}{x^2 + h_1^2}, \qquad (3.1)$$

где β - угол между направлением из точки наблюдений на верхнюю кромку пласта и горизонталью (см. рис. 3.1). График $H_z^{\text{В}}$ переходит через нуль над верхней кромкой пласта и имеет экстремумы, отстоящие от точки перехода через нуль на расстояние, равное h_1. Таким же образом можно построить график напряженности магнитного поля тока, текущего по нижней кромке пласта. При этом надо учесть, что глубина до этого тока h_2 в нашем примере в 3 раза больше. Соответственно, в это же число раз уменьшается и напряженность поля. Изменяется и направление поля, так как ток вдоль нижней кромки пласта имеет противоположное направление (см. рис. 3.1).

Просуммировав напряженности магнитного поля верхнего и нижнего токов, получим график напряженности вторичного поля от пласта. Для наклонного пласта аномалия H_{2z} знакопеременная, с переходом через нуль, смещенным относительно верхней кромки в сторону восстания пласта. Над пластом аномалия отрицательная, со стороны восстания пласта – положительная, имеющая меньшую интенсивность (см. рис. 3.1).

Таким же образом можно найти вид аномалии горизонтальной составляющей поля H_{2x}, а также для случая горизонтальной или наклонной ориентировки первичного поля.

В методе переходных процессов, в котором изучается неустановившееся поле, возбужденное импульсом постоянного тока в генераторной петле, аномалия имеет точно такой же вид, но имеет противоположный знак (см. [2, с. 76 -77]). Поэтому для построения графиков э. д. с. ε, индуцированной в приемной рамке, можно воспользоваться рассмотренным приемом, изменив только направление линейных токов в кромках пласта.

Задание

1. Аппроксимировать вихревые токи, возбужденные в проводящем пласте с заданными параметрами, двумя линейными токами, протекающими вдоль верхней и нижней кромок пласта. Определить направление токов при заданном направлении первичного поля.

2. Рассчитать вертикальные и горизонтальные составляющие напряженности магнитного поля линейных токов. Построить графики H_z и H_x линейных токов.

3. Построить графики для вертикальной и горизонтальной составляющих аномалии от пласта, выполнив графическим способом сложение полей от линейных токов. При построении графиков H_2/H_1 принять первичное поле H_1=1. Под графиками показать модель, для которой выполняется расчет, указав направление линейных токов.

4. Построить графики э. д. с., индуцированной в приемной рамке в методе переходных процессов. Для этого надо только изменить направление линейных токов и, соответственно, изменить знак аномалии.

5. Описать вид графиков для низкочастотного и неустановившегося поля, отметив их характерные особенности.

Литература по теме задания: [2, с. 5 – 7, с. 9 – 14, с. 45, с. 48, с. 76 - 77].

Таблица 3

Исходные данные к заданию

Номер вар.	h_1, м	*d*, м	α°	Ориентир. H_1	*Номер* вар.	h_1, м	*d*, м	α°	Ориентир. H_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	80	20	Вертик.	6	100	500	40	Горизонт.
2	20	80	20	Горизонт.	7	20	80	30	Вертик.
3	50	200	30	Вертик.	8	20	80	30	Горизонт.
4	50	200	30	Горизонт.	9	50	200	40	Вертик.
5	100	500	40	Вертик.	10	50	200	40	Горизонт.
11	100	500	50	Вертик.	30	30	150	20	Горизонт.
12	100	500	50	Горизонт.	31	100	600	40	Вертик.
13	30	150	30	Вертик.	32	100	600	40	Горизонт.
14	30	150	30	Горизонт.	33	40	200	20	Вертик.
15	50	250	20	Вертик.	34	40	200	20	Горизонт.
16	50	250	20	Горизонт.	35	50	300	60	Вертик.
17	100	800	20	Вертик.	36	50	300	60	Горизонт.
18	100	800	20	Горизонт.	37	40	300	40	Вертик.
19	20	150	60	Вертик.	38	40	300	40	Горизонт.
20	20	150	60	Горизонт.	39	60	250	45	Вертик.
21	50	200	45	Вертик.	40	60	250	45	Горизонт.
22	50	200	45	Горизонт.	41	75	300	30	Вертик.
23	100	500	30	Вертик.	42	75	300	30	Горизонт.
24	100	500	30	Горизонт.	43	40	250	45	Вертик.
25	30	200	45	Вертик.	44	40	250	45	Горизонт.
26	30	200	45	Горизонт.	45	75	250	25	Вертик.
27	40	250	30	Вертик.	46	75	250	25	Горизонт.
28	40	250	30	Горизонт.	47	60	300	25	Вертик.
29	30	150	20	Вертик.	48	60	300	25	Горизонт.

Задание 4. Определение условий применения дистанционного индукционного зондирования

Изменение глубины исследования в дистанционных индукционных зондированиях достигается путем изменения расстояния между источником поля и точкой измерения, так же, как при зондированиях на постоянном токе. Измерения при всех размерах установки выполняются на одной частоте. Преимуществом индукционных зондирований является возможность изучения разреза под экранами. Кроме того, так как измерение поля выполняется индуктивным способом, отпадает необходимость устройства заземлений. Последнее важно при сложных условиях заземления (мерзлота, лед, асфальтовые и бетонные покрытия, каменные осыпи). Способ возбуждения может быть любым, но обычно используется тоже индуктивный способ.

Максимальный размер установки должен быть таким, чтобы обеспечивалась необходимая глубина исследования. Обычно он должен быть в 4–6 раз больше глубины до опорного горизонта. Частота поля должна быть такой, чтобы при самом большом разносе соблюдались условия ближней зоны, так как за её пределами дистанционное зондирование невозможно. В качестве условия ближней зоны в дистанционном зондировании принимают соотношение

$$r \le 0{,}1\lambda \approx 316\sqrt{\rho_{ср} / f}\ , \qquad (4.1)$$

где $\rho_{ср}$ – среднее удельное сопротивление надопорной толщи.

Воспользовавшись этим соотношением можно определить максимальную допустимую частоту при заданном размере установки или максимальный размер установки, допустимый при заданной частоте.

Задание

1. Определить необходимый максимальный размер установки для проведения дистанционных индукционных зондирований в заданных геоэлек-

трических условиях.

2. а) определить максимальную частоту, при которой возможны дистанционные зондирования при этих условиях; б) определить максимальную глубину, до которой возможно изучение разреза при заданной частоте.

Литература по теме задания: [1], с. 75 - 77; [3], с. 283 - 284.

Таблица 4

Исходные данные к заданию

Номер вар.	*H*, м	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*Номер* вар.	*H*, м	ρ, Ом·м	*f*, Гц	Номер вар.	*H*, м	ρ, Ом·м	*f*, Гц
1 а	25	40	-	2 а	30	25	-	3 а	25	10	-
б			78	б			125	б			125
4 а	50	75	-	5 а	45	50	-	6 а	20	80	-
б			625	б			375	б			125
7 а	100	250	-	8 а	80	120	-	9 а	40	25	-
б			1125	б			625	б			225
10 а	60	90	-	11 а	20	50	-	12 а	15	75	-
б			1250	б			125	б			375
13 а	75	50	-	14 а	30	45	-	15 а	35	50	-
б			375	б			78	б			
16 а	25	35	-	17 а	30	65	-	18 а	50	120	-
б			78	б			125	б			1125
19 а	30	450	-	20 а	40	1500	-	21 а	35	90	-
б			375	б			1125	б			78
22 а	30	85	-	23 а	45	110	-	24 а	15	50	-
б				б			2500	б			312
25 а	20	800	-	26 а	70	55	-	27 а	65	180	-
б			640	б			640	б			1280
28 а	15	65	-	29 а	25	120	-	30 а	55	85	-
б			312	б			78	б			1280
31 а	20	65	-	32 а	55	70	-	33 а	80	650	-
б			156	б			640	б			2500
34 а	60	160	-	35 а	20	25	-	36 а	30	15	-
б			1280	б			78	б			640
37 а	15	10	-	38 а	25	20	-	39 а	40	65	-
б			78	б			640	б			1280
40 а	40	180	-	41 а	50	60	-	42 а	70	120	-
б			78	б			640	б			1280
43 а	65	120	-	44 а	35	30	-	45 а	45	40	-
б			2500	б			640	б			312
46 а	35	40	-	47 а	50	800	-	48 а	15	15	-
б			1125	б			312	б			78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Редозубов, А. А.* Конспект лекций по электроразведке переменным током. Часть 1. Общие сведения о переменных электромагнитных полях. Магнитотеллурические методы и электромагнитные зондирования: учебное пособие. *А. А. Редозубов.* Екатеринбург: Издательство Уральской государственной горно-геологической академии, 1997. - 94 с.

2. *Редозубов, А. А.* Конспект лекций по электроразведке переменным током. Часть 2. Индуктивные методы электроразведки: учебное пособие. *А. А. Редозубов.* Екатеринбург: Издательство Уральской государственной горно-геологической академии, 1999. - 106 с.

3. *Якубовский, Ю. В., Ренард, И. В.* Электроразведка: учебник для вузов. 3-е изд., прераб. и доп. *Ю. В. Якубовский, И. В. Ренард.* М.: Недра, 1991. - 359 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Задание 1. Оценка поглощения энергии и длины волны электромагнитного поля в квазипроводниках …… 3

Задание 2. Построение и интерпретация кривой магнитотеллурического зондирования …….. 6

Задание 3. Приближенное построение аномалии от проводящего объекта в индуктивных методах ……. 12

Задание 4. Определение условий применения дистанционного индукционного зондирования …….. 17

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ …… 19

Авенир Александрович Редозубов
Гульшат Ахметовна Косарева

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 2

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых (РФ)

Редактор В. В. Баклаева

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60x84 1/16.
Гарнитура Times New Roman Печать на ризографе.
Печ. л . Уч.-изд. л. Тираж экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГРАВИРАЗВЕДКА»

специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 1

Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

форма обучения: очная, заочная

Автор: Виноградов В.Б.

Одобрена на заседании кафедры

Геофизики
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 01.09.2022
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

Геологии и геофизики
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Бондарев В.И.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 13.09.2022
(Дата)

Екатеринбург
2022

На составление курсового проекта отводится **4 недели.**

Консультации еженедельно для всей группы по сетке расписания и по 4 человека в день на неделе в одно согласованное время для всех 4 студентов

1 неделя. Выдача задания. Сбор материалов. В библиотеке необходимо взять литературу, указанную в задании.

Написание геологического задания.

Написание физико-географического раздела по БРЭ или иным источником с кратким описание экономики и освоенности территории с приложением обзорной карты района.

Составление раздела «Геологическая характеристика».

2 неделя. Анализ работ прошлых лет. Истолкование аномалий.

Составление раздела «Геофизическая характеристика».

Решение прямых задач.

Создание ФГМ.

3 неделя Написание раздела «Методика полевых работ». Гравиметр только CG-5 или CG-6.

4 неделя Составление раздела «Камеральные работы».

Написание раздела «Обработка и истолкование результатов измерений.

Вычисление физических объемов и сроков проведения работ.

СРОК СДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА 5 неделя (не позднее пятницы). **В субботу 5 недели ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА.** Без защиты курсовой проект не оценивается.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДИСЦИПЛИНАМ «ГРАВИРАЗВЕДКА»

Курсовой проект составляется в соответствии с принятым в производственных геолого-геофизических организациях «Макетом проекта на общие (детальные) поиски твердых полезных ископаемых» [10]. В данных методических указаниях, сохраняя нумерацию и название разделов «Макета...», рассматривается содержание лишь тех разделов, которые необходимы для написания курсового проекта.

Для выполнения курсового проекта необходимо проработать рекомендуемую литературу по геологическому строению района проектируемых работ, физическим свойствам горных пород и руд, а также по методике и технике гравиразведочных работ и камеральной обработке результатов измерений гравитационного поля [3. 4. 5 и др.].

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

1.1 Целевое назначение работ, пространственные границы объекта, основные оценочные параметры.

Пример. Общие поиски железорудных месторождений в пределах Масловско-Ауэрбаховской зоны на участке южного замыкания Ауэрбаховского интрузива. Площадь исследований 60 кв. км.

Оценочные параметры - получение кондиционных карт поля силы тяжести масштаба 1:10000 и оценка площади на выявление промышленных месторождений до глубины 300 м.

1.2 Геологические задачи, последовательность и основные методы их решения.

Пример. Изучение перспектив площади на обнаружение скрытого магнетитового оруденения на участках южного продолжения Ауэрбаховского рудоконтролирующего разлома.

На участке площадью 60 кв. км. (10×6 км) выполнить площадную гравиметрическую съемку масштаба 1:10000.

1.3 Ожидаемые результаты и сроки выполнения работ (с указанием форм отчетной документации).

Пример. По результатам гравиметрической съемки будут выделены перспективные на магнетитовое оруденение участки, определяются места заложения поисковых скважин (или даются рекомендации на проведение поисково-разведочных работ).

По результатам проведенных работ будет составлен геологический отчет. К тексту отчета будут приложены карты силы тяжести в редукции Буге (с указанием масштаба, плотности промежуточного слоя, сечением изоаномал), схематические геолого-геофизические разрезы по профилям, пересекающим перспективные аномалии, объемная плотностная модель, ее геологическое истолкование.

1. ГЕОГРАФО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Указывается административное положение района работ. Приводится краткая характеристика рельефа, климата, растительного и животного мира, населенности и путей сообщения, возможности найма рабочей силы на месте или их найма в другом районе. Приводится обзорная карта района работ с нанесением участка полевых работ. Определяется категория трудности местности для проведения геофизических и топогеодезических работ (прил.1).

В курсовом проекте этот раздел составляется по литературным источникам, которые указываются в задании.

4. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

4.1. Геологическая характеристика

Указывается геолого-структурное положение района проектируемых работ.

Пример. В структурном плане район работ расположен в пределах восточного крыла Тагильского мегасинклинория в Турьинской структурно-фациальной зоне.

Данный раздел содержит подразделы: “Стратиграфия”, “Магматизм”, “Тектоника”, “Геоморфология и гидрогеология”, “Полезные ископаемые”. В них приводятся краткие сведения по стратиграфии с указанием состава пород и их мощности, сведения об интрузивных образованиях, тектонике. Подробно описываются рудовмещающие комплексы, гидротермальные и метасоматические процессы, отмечаются рудоконтролирующие факторы. Особо отмечаются процессы метаморфизма, которые обусловливают изменение физических свойств горных пород.

В подразделе «Полезные ископаемые» приводится характеристика месторождений и рудопроявлений всех полезных ископаемых, встреченных в данном районе работ, отмечается их приуроченность к определенным комплексам пород, структурно-тектоническим и металлогеническим зонам. Выделяются полезные ископаемые, на которые площадь проектируемых работ является наиболее перспективной, и более подробно описываются месторождения, типичные для этого полезного ископаемого.

Необходимо уделить особое внимание анализу поверхностных рыхлых отложений, поскольку они могут иметь переменную мощность, неоднородны по составу и часто вносят существенные искажения в геофизические поля.

В результате анализа геологического строения района должны быть сформулированы геологические предпосылки для выполнения геологического задания.

4.3. Геофизическая характеристика

В этом разделе проекта необходимо обосновать применение гравиразведки для решения поставленной геологической задачи.

В разделе приводится таблица плотности горных пород и руд, которая составляется по литературным источникам. Выполняется анализ физических свойств горных пород и руд. Породы с близкими физическими свойствами могут объединяться в группы. Указываются возможные пределы изменения плотности, обусловленные метаморфическими процессами, выветриванием и т. п.

На основе анализа физических свойств и особенностей геологического строения составляются плотностная модель (ПМ). Основой для построения ПМ служит геологический разрез, на котором в упрощенном виде выделяются главные источники аномалий. Породы, близкие по свойствам, могут быть объединены в единый источник. Объекты, создающие помехи для выделения главных источников, например переменная мощность рыхлых отложений, также показываются на ПМ.

Необходимо выполнить расчеты гравитационных и магнитных полей в плане от ПМ и провести анализ ожидаемых аномалий от искомых объектов и от объектов-помех. Приводится качественная характеристика ожидаемых гравитационных полей в плане над различными комплексами пород, и особенно над рудовмещающей толщей. При решении задач геологического картирования необходимо дать характеристику полей

над наиболее крупными блоками пород, дать характеристику ожидаемых аномалий над зонами тектонических нарушений.

В результате анализа формулируются физико-геологические предпосылки, благоприятные для решения поставленных задач, и отмечаются факторы, затрудняющие выделение аномалий от искомых объектов. В заключение делаются выводы о возможностях использования гравиразведки для выполнения геологического задания и указываются конкретные задачи, решаемые гравиразведкой. Раздел иллюстрируется геолого-геофизическими разрезами (ПМ), на которых приводятся расчетные кривые поля.

5. МЕТОДИКА, ОБЪЕМЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ РАБОТ

5.1. Геологические задачи и методы их решения

Конкретизируются геологические задачи, которые необходимо решить для выполнения геологического задания. Намечается сеть измерений для решения поставленных задач, а также последовательность проведения создания опорной сети, рядовой съемки и т.д. Указываются решаемые с помощью гравиразведки геологические задачи. Поскольку курсовой проект ограничен рамками курса «Гравиразведка»», то задачи, решаемые другими методами, лишь перечисляются, без обоснования.

Пример. Для определения мощности рыхлых отложений будет поставлен метод ВЭЗ, для выявления природы гравитационных аномалий проектируется метод ВП (или МПП) и т. п.

5.8. Наземные геофизические работы

На основании разделов 4.1 и 4.3 перечисляются критерии выбора участка проектируемых работ. **Главной целью курсового проекта является подробное обоснование методики полевых.**

5.8.1. Гравиразведка

В данном разделе необходимо обосновать:

1) вид съемки;

2) точность и масштаб съемки, сечение изоаномал отчетной карты, масштаб графиков при профильной съемке;

3) систему расположения и густоту рядовых пунктов наблюдений, систему опорных пунктов.

Гравиметровая съемка по отдельным маршрутам (профилям) применяется редко, например при рекогносцировочных наблюдениях или при изучении сильно вытянутых по простиранию объектов. Обычно применяется площадной вид съемки с детализацией выявленных аномалий, когда по результатам съемки может быть построена кондиционная гравиметрическая карта на всю площадь исследования.

Проектная точность съемки (среднеквадратическая погрешность определения аномалии силы тяжести в редукции Буге) выбирается в зависимости от интенсивности предполагаемых аномалий, а также от условий работ и заданного масштаба съемкии требований инструкции [5]. Для обоснования проектной точности съемки нужно использовать расчеты для типичных геологических разрезов (ПМ, см. разд. 4.3). Среднеквадратическая погрешность определения аномалии силы тяжести в редукции Буге (ε_a) не должна превышать при поисковой съемке 1/5, а при региональной - 1/3 минималь-

ной величины локальных аномалий гравитационного поля, создаваемых искомыми объектами.

При выполнении курсового проекта в некоторых случаях масштаб, указанный в задании, может не соответствовать величине среднеквадратической погрешности, рассчитанной по аномалии для заданного разреза $(\varepsilon_a)_{расч}$. Если $(\varepsilon_a)_{расч.}$ оказывается меньше ε_a для заданного масштаба, то искомая аномалия может оказаться пропущенной, т. к. изолинии на отчетной карте (сечение изоаномал) проводят через $2.5\varepsilon_a$.

Пример. Задан масштаб съемки 1:25000, для этого масштаба ε_a=0.10 мГал, изоаномалы проводятся (табл.1) через 0.25 мГал. Амплитуда расчетной аномалии (рис.1) А=0.2 мГал, т. е. меньше сечения изоаномал отчетной карты. Аномалия не будет оконтурена изолинией и может оказаться пропущеной. Расчетная погрешность $\varepsilon_a=(1/5)\times A=0.2\times 0.2=0.04$ мГал соответствует (табл. 1) масштабу 1:10000. Следовательно, необходимо изменить масштаб съемки, указанный в геологическом задании. В подобных случаях необходимо в проекте привести убедительное обоснование, т. к. повышение точности съемки и применение более детальных работ потребует увеличения расходов денежных средств и затрат труда.

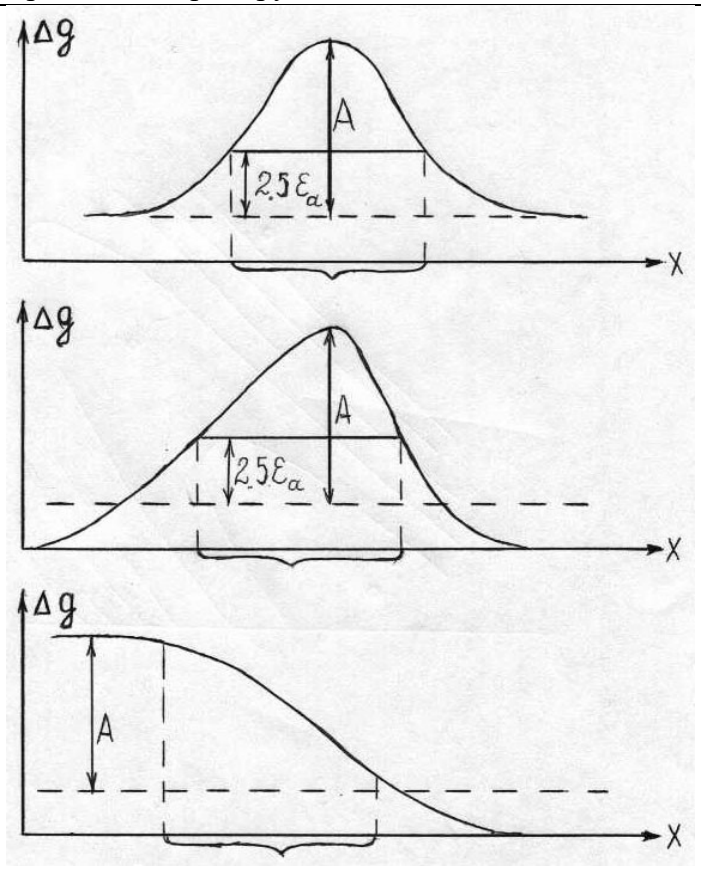


Рис. 1. Определение ширины аномальной зоны

Если $(\varepsilon_a)_{расч.}$ превышает ε_a для заданного масштаба съемки, то принимается заданный масштаб, так как искомая аномалия в этом случае будет оконтурена не менее чем одной изолинией.

Пример. Задан масштаб съемки 1:25000, ε_a =0.10 мГал, сечение 0.25 мГал. Расчетная аномалия получилась равной А=1.2 мГал, расчетная погрешность $(\varepsilon_a)_{расч.}=0.2\times 1.2=0.24$ мГал. Амплитуду аномалии А следует отсчитывать от уровня нормального поля или уровня фона помех (см. рис. 1). Формально можно проектировать съемку масштаба

1:50000 с ε_a=0.20 мГал. Но геологическое задание предусматривает поиски и более мелких рудных тел, залегающих на большей глубине. Следовательно, принимается масштаб съемки, указанный в геологическом задании, и относительно него определяются ε_a, сеть съемки и другие параметры.

Связь масштаба, точности и сети наблюдений определяется Инструкцией по гравиразведке (см. табл.1) [5].

Для построения кондиционной гравиметрической карты желательно предусмотреть измерения по равномерной сети наблюдений. При поисках и картировании объектов изометричной формы в плане рационально проводить измерения по квадратной сети. При изучении объектов вытянутой формы наблюдения лучше проводить по прямоугольной сети. Отношение расстояний между профилями и между пунктами на профиле не должно превышать 5:1. Профили наблюдений следует ориентировать в направлении перпендикулярном основному простиранию контактов, структур и искомых объектов.

Расстояние между профилями наблюдений рассчитывается исходя из того, чтобы аномалия от искомого объекта была установлена как минимум тремя профилями. Если в задачу работ входит картирование нескольких объектов, то при расчете сети наблюдений ориентируются на аномалию объекта минимальных размеров, который должен быть выявлен гравиметрической съемкой.

Расстояние между пунктами наблюдений на профиле рассчитывается по величине ширины аномалий искомого объекта. Для уверенного выделения аномалии необходимо, чтобы не менее трех точек наблюдения, имеющих амплитуду, не меньшую сечения карты, попало в аномальную зону (см. рис.1). Для определения размеров аномальной зоны рассчитывается Δg при минимально возможной глубине залегания искомого объекта. Расстояния между профилями и пунктами наблюдения на профиле приводятся к ближайшим стандартным (см. табл.1). Определяется густота сети, т. е. количество пунктов на 1 кв. км. Рассчитанная сеть наблюдений должна удовлетворять требованиям, указанным в колонке 7 табл.1. для соответствующего масштаба съемки. Таким образом, рассчитав ε_a и густоту, можно определить масштаб съемки либо выбрать оптимальную сеть наблюдений, если масштаб съемки заранее указан в геологическом задании.

В проекте необходимо предусмотреть детализацию выявленных аномалий в объеме до 20 % от общего объема работ и наблюдения по интерпретационным профилям, пересекающим выявленные аномалии. Сеть наблюдений на интерпретационных профилях сгущается примерно в 2 раза. Точность наблюдений на интерпретационных профилях должна быть выше, чем на основных. В проекте необходимо описать сеть наблюдений, указать точность и предполагаемые объемы детализационных работ.

Определив окончательно масштаб, сеть съемки и ε_a, из табл.1 берется среднеквадратическая погрешность определения наблюденных значений силы тяжести:

$$\varepsilon_g = (\varepsilon_0^2 + \varepsilon^2_{ряд.})^{1/2}$$

и вычисляются проектные погрешности опорной и рядовой сетей. Опорная сеть должна иметь погрешность в 1.5 - 2 раза меньше погрешности рядовой съемки, т. е. $\varepsilon_{ряд.}=2\varepsilon_{оп.}$, отсюда $\varepsilon_g=2.236\varepsilon_{оп.}$ или $\varepsilon_{оп.}=0.4472\varepsilon_g$; $\varepsilon_{ряд.}=0.8944\varepsilon_g$.

Число независимых наблюдений N на точках рядовой и опорной сетей рассчитывается по формуле

$$N > \varepsilon_0^2/\varepsilon_{пр.}^2,$$

где ε_0 - среднеквадратическая погрешность единичного наблюдения (определяется по паспорту или в результате испытаний прибора на полигоне);

$\varepsilon_{пр.}$ - проектная точность рядовой или опорной сети, для которой вычисляется N.

Таблица 1

Соотношение масштаба, точности и сети съемки

Масштаб отчетных карт и графиков	Сечение изоаномал, мГал	Ср. кв. погр. опред. силы тяж. в ред. Буге ε_a, мГал	Ср. кв. погр. опред. набл. знач. Силы тяж.ε_g, мГал	Средн. квадр. погр. опред. высот, м	Средн. квадр. погр. опред. коорд. пунктов, м	Густота сети	
						число пунктов на 1 кв. км	Расстояние между пунктами при набл. по профилям, м
1	2	3	4	5	6	7	8
1:200000	2	±0.80	±0.40	±2.5	±100	0.10-0.25	1000-2000
1:100000	1	0±0.40	±0.30	±1.2	±80	0.25-1.00	500-1000
1:50000	0.5	±0.20	±0.15	±0.7	±40	2-30	100-500
1:50000	0.25	±0.10	±0.07	±0.35	±40	4-50	50-250
1:25000	0.25	±0.10	±0.06	±0.35	±20	12-60	50-250
1:25000	0.20	±0.08	±0.06	±0.15	±20	16-80	20-100
1:10000	0.20	±0.08	±0.06	±0.20	±4	20-100	20-100
1:10000	0.10	±0.04	±0.03	±0.10	±4	25-200	10-50
1:5000	0.10	±0.04	±0.03	±0.10	±2	50-250	10-50
1:5000	0.05	±0.02	±0.015	±0.05	±2	100-500	5-25

На опорных точках должно быть не менее двух независимых наблюдений. **Способ достижения проектной кратности *N* обосновывается в проекте – или многократные независимые рейсы (циклы) с одним прибором, или измерения с группой приборов в одном рейсе (цикле).**

Пример. Для гравиметровой съемки масштаба 1:10000 ε_a=0.08 мГал, ε_g=0.06 мГал, $\varepsilon_{оп.}$=0.06/2.236=0.027 мГал,$\varepsilon_{ряд.}$=0.054 мГал. Для рядовой съемки возьмем гравиметр ГНУ-КС, у которого по паспорту ε_0=0.06 мГал. Число независимых наблюдений на рядовой сети: $N_{ряд.}>0.0036/0.054^2$, $N_{ряд.}=2$. Для опорной сети возьмем гравиметр ГНУ-КВ , у которого ε_0=0.04 мГал, $N_{оп.}=0.04^2/0.027^2$, N=3. Если при создании опорной сети использовать тот же гравиметр ГНУ-КС, то потребуется 7-кратное повторение.

В случае применении гравиметров CG-5 и CG-6 смещение нуля не более 0,02 мГал/сутки, что позволяет существенно разрядить сеть опорных пунктов (до 2 – 3 в день) и стоимость работ.

Далее осуществляется выбор и обоснование системы полевой опорной сети. Сеть опорных пунктов может создаваться как в самом начале полевых работ, так и в процессе съемки. В последнем случае необходимо до рядовой съемки создать каркасную опорную сеть и один из этих пунктов привязать к пункту государственной опорной гравиметрической сети.

При рекогносцировочных масштабных съемках в трудных для передвижения условиях местности наблюдения на опорной сети выполняются по методике узловых пунктов. Наблюдения на пунктах опорной сети выполняются по центральной и двухступенчатой системе.

Центральной называется такая система наблюдений, при которой каждый опорный пункт имеет непосредственную связь с единым для всего участка исходным пунктом,

который, в свою очередь, привязан к государственной гравиметрической сети. В настоящее время подавляющая часть измерений проводится именно так. Связь между опорными пунктами осуществляется циклами или короткими рейсами. Такая система наблюдений применяется для небольших участков при условии быстрой транспортировки приборов. Схема создания опорной сети по центральной системе показана на рис.2.

Двухступенчатая система состоит из каркасной и заполняющей опорной сети. Стоимость таких работ существенно возрастает, а потому требует дополнительного обоснования. Каркасная сеть создается по центральной или полигонной системе с числом сторон в полигоне 3 - 5. Заполняющая опорная сеть создается рейсами. Рейсы заполняющей опорной сети начинаются и заканчиваются на пунктах каркасной опорной сети. Схема отработки опорной сети по двухступенчатой системе показана на рис. 3а и 3б.

Расстояние между опорными пунктами выбирается из расчета, чтобы рейс по рядовым пунктам укладывался в интервал времени $\Delta t_{эф.}$, в течение которого закон смещения нуль-пункта гравиметра можно считать линейным. Этот интервал для каждого прибора и для заданной точности съемки определяют по графику смещения нуль-пункта, полученному при изучении характера смещения нуль–пункта во время подготовки гравиметра к полевым работам. В курсовом проекте $\Delta t_{эф.}$ следует брать для масштаба 1:10000 - 1.5-2 часа; для масштабов 1:25000 и 1:50000 - 3-3.5 часа; для масштабов 1:100000 и 1:200000 - 6-7 часов. Продолжительность рейсов по опорной сети в 2 раза меньше.

По $\Delta t_{эф.}$ и нормам времени (табл. 2) для избранной сети наблюдений рассчитывается расстояние между опорными пунктами. В зависимости от масштаба съемки расчетные расстояния между магистралями и каркасными опорными пунктами следует приводить к расстояниям, кратным 1 км или 0.5 км. При расстоянии между профилями, соизмеримыми с расстоянием между пунктами на профиле, опорные пункты на магистралях располагают через один профиль, в шахматном порядке. При проектировании нужно учитывать возможность подъезда (наличие посадочной площадки для вертолета) к каркасным опорным пунктам и фактическую проходимость местности для автотранспорта. Характеристики категорий местности приведены в прил. 1. В результате расчета получают лишь примерное расстояние между каркасными пунктами. Фактическое их положение наносится на топографическую карту с учетом удобства подъезда к ним, быстрого и надежного их опознания на местности и т. п.

Рядовые рейсы выполняются по методике без повторений. Каждый рейс начинается и заканчивается на опорных пунктах.

Контрольные рейсы выполняются диагональными ходами в объеме 5 – 10 % от объема рядовой съемки. Схемы рядовых и контрольных рейсов показаны на рис.2,.3а и 3б.

Исходный пункт, на который передают абсолютное значение силы тяжести от пункта Государственной гравиметрической сети, создают по цикловой схеме (рис. 3а, 3б):

ГГС→ИП→ГГС.

Опорные пункты создают по цикловой схеме (рис. 3):

ИП→ОП→ИП.

Наблюдения на пунктах рядовой сети выполняют отдельными рейсами, опирающимися на пункты опорной сети (рис. 3а, 3б). Рядовой рейс выполняют по схеме от опорного пункта до опорного пункта:

ОП1-РП1-РП2-….-РПN-ОП2.

Точность наблюдений на рядовых пунктах в 1.5 – 2 раза ниже, чем на опорных.

Гравиметрические опорные пункты должны по возможности располагаться на площади равномерно, иметь стабильное основание для установки прибора. Удобно совмещать пункты опорной гравиметрической сети с пунктами геодезических сетей.

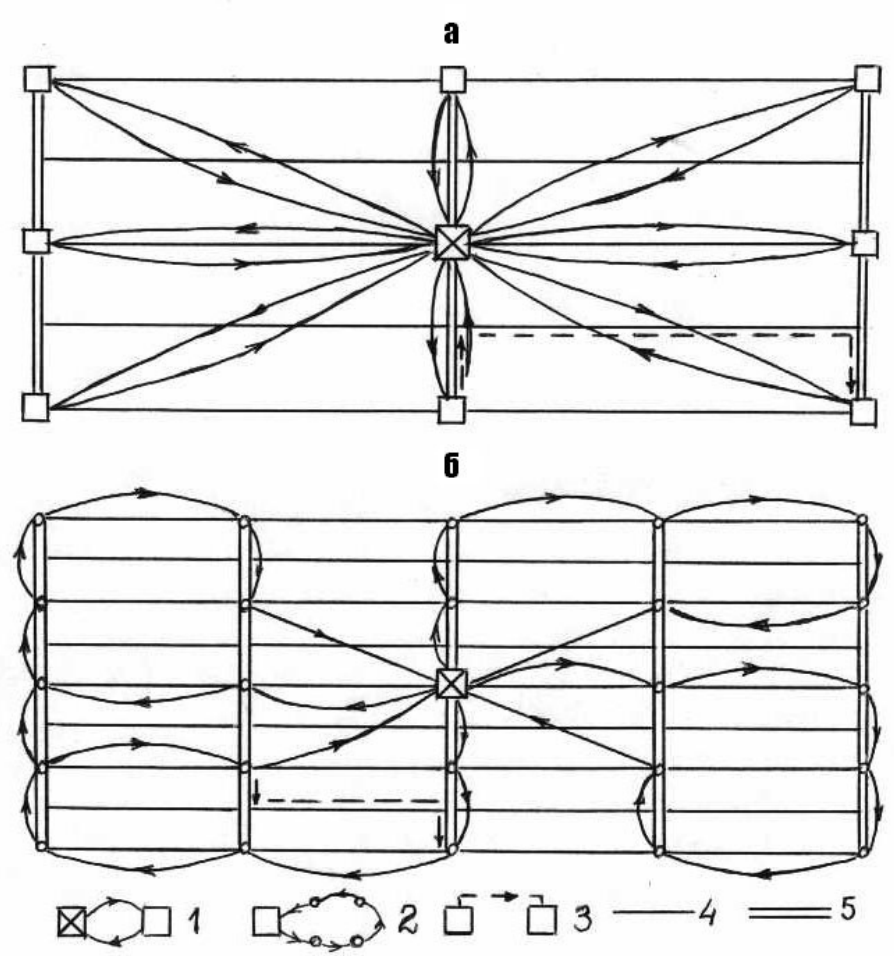


Рис. 2. Центральная система отработки опорной сети:

а – съемка циклами, б – съемка рейсами:

1 – гравиметрический цикл, связывающий опорный пункт с исходным пунктом; 2 – рейс, связывающий опорные пункты с исходным пунктом;

3 – рейс по рядовым пунктам между двумя опорными пунктами; 4 – профиль рядовой съемки; 5 – магистраль

Густота сети пунктов наблюдений, точность измерений, характеристики применяемой техники регламентируются действующей инструкцией.

С целью подтверждения паспортных характеристик гравиметров перед проведением съемки проводят предполевую подготовку:

а) исследование зависимости показаний прибора от атмосферного давления, температуры, режима транспортировки;

б) изучение закона смещения нуль-пункта;

в) определение цены деления;

г) определение времени становления отсчета;

д) проверка герметичности;

е) определение полного диапазона без перестройки;

ж) определение люфта измерительного устройства;

и) сопоставление результатов измерений различными приборами.

Приводится расчет объема работ в физическом выражении (погонные километры, физические точки) и приборо-сменах по видам работ (привязка к Государственной гравиметрической сети, опорная сеть, рядовая съемка, контрольные измерения. детализационные работы и т. д.).

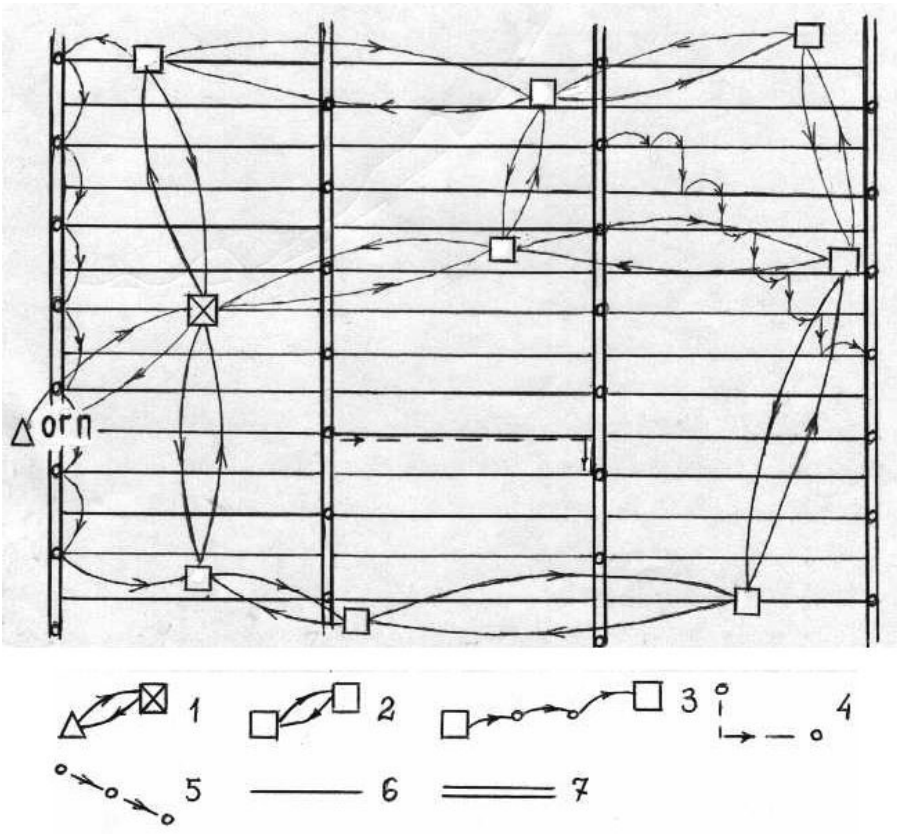


Рис. 3а. Двухступенчатая опорная сеть:

1 - гравиметрический цикл, связывающий опорный государственный пункт и исходный пункт; 2 - гравиметрический цикл, связывающий два каркасных пункта; 3 - рейс по заполняющей опорной сети, опирающийся на каркасные пункты; 4 - рейс по рядовым пунктам между двумя опорными;

5 - диагональный контрольный ход между двумя опорными пунктами; 6 – профиль рядовой съемки; 7 - магистраль

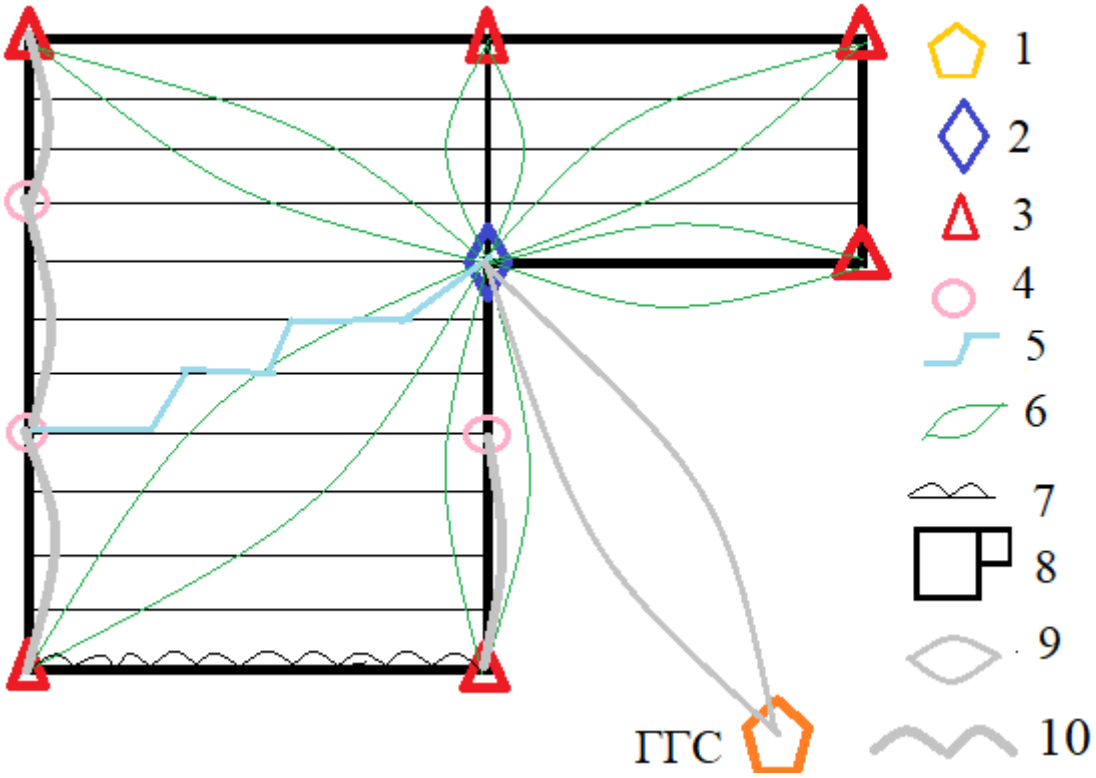


Рис. 3б Схема гравиметрической съемки

Условные обозначения к рис. 3б:

1 – пункт Государственной гравиметрической сети (ГГС)

2 – исходный пункт на участке съемки, на который передают абсолютное значение силы тчжести,

3 – пункты каркасной опорной сети,

4 – пункты заполняющей опорной сети,

5 – контрольный диагональный ход (показан условно схематически, контрольные пункты выбирают после окончания съемки),

6 – циклы передачи абсолютного значения силы тяжести от исходного пункта на пункты каркасной опорной сети (КОС),

7 – рейс по пунктам рядовой сети измерений,

8 – контур участка съемки,

9 – схема передачи по цикловой схеме абсолютного значения силы тяжести с пункта ГГС на исходный пункт участка.

10 –рейс по пунктам каркасной сети.

Пример. Для съемки масштаба 1:50000 по сети 500×250 м для местности III категории трудности (залесенная местность), при пешем передвижении норма времени 2.05 приборо-смены на съемку 80 пунктов; $\Delta t_{эф}$ для рядовой съемки равна 3 - 3.5 часа. При 8-часовом рабочем дне норма на 1 час равна 80:(8×2.05)=5 пунктов. За $\Delta t_{эф}$=3 часа нужно выполнить наблюдения на 15 пунктах. Следовательно, расстояние между опорными пунктами в рядовом рейсе равно 250×15=3750≈3500 м. Опорные пункты запол
няющей сети обычно располагаются на пересечении профилей с магистралями. Таким образом, расстояние между магистралями в данном примере равно 3 км. Расстояние между опорными пунктами заполняющей сети по магистрали равно 500×2=1000 м. Если местность позволяет, для передвижения следует использовать автомобиль. Тогда норма времени равна 1.36 приборо-смен на съемку 50 пунктов. За $\Delta t_{эф.}$=2 часа можно

выполнить съемку (50:(8×1.36))×2=9 пунктов. Каркасная опорная сеть создается по цикловой схеме (см. рис. 17.3). Расстояние между каркасными опорными пунктами должно быть таким, чтобы продолжительность цикла не превышала 1.5 часов, т.е. примерно 6-8 км.

Таблица 2

Нормы времени на гравиразведку с наземными гравиметрами. Летний период. [16]

Расстояние между профилями,м	Расстояние между пунктами, м	Количество пунктов	Количество приборо-смен						
			Передвижение пешее, оператор с 1 гравиметром				Передвижение на автомобиле		
			Категория трудности						
			I	II	III	IV	I	II	III
100	20	500	4.00	4.90	5.80	7.19	-	-	-
100	100	100	1.11	1.33	1.58	2.06	0.82	1.01	1.24
250	50	80	0.73	0.88	1.05	1.31	-	-	-
500	250	80	1.37	1.56	1.83	2.48	0.77	0.98	1.25
500	500	40	1.13	1.25	1.53	2.13	0.44	0.58	0.76
1000	250	40	0.69	0.78	0.91	1.24	0.39	0.49	0.63
1000	500	20	0.56	0.62	0.76	1.06	0.22	0.29	0.38
2000	500	10	0.28	0.31	0.38	0.53	0.11	0.14	0.19
2000	1000	50	2.50	2.78	3.42	5.04	0.67	0.88	1.17
4000	2000	12.5	1.25	1.34	1.66	2.33	0.25	0.33	0.46

Расстояние между профилями, км	Расстояние между пунктами, км	Количество пунктов	Передвижение на вертолете (самолете)			
			Категория трудности			
			Ia	IIa	IIIa	IVa
2	2	250	9.40	12.3	20.0	25.6
5	5	40	1.79	2.29	3.57	4.52
8	8	15.62	0.784	0.976	1.50	1.89
10	10	100	5.65	6.81	10.2	12.8
20	20	25	1.81	2.25	3.19	3.85
30	30	11.11	1.09	1.27	1.73	2.05
50	50	4	0.574	0.644	0.834	0.937

5.17. Топографо-геодезические работы

Для обеспечения плановой и высотной привязок пунктов наблюдений Δg предусматриваются следующие виды топогеодезических работ:

1) разбивка магистралей и профилей наблюдений с пикетами, соответствующих проектной сети наблюдений;

2) закрепление опорных пунктов, концов профилей и магистралей на местности;

3) привязка участков съемки к государственной триангуляционной сети;

4) определение высот пунктов наблюдений;

5) нивелирование или иные методы определения высот для учета рельефа местности в ближней зоне в пунктах гравиметрических наблюдений;

6) применение спутниковых навигационных систем.

Определение высот (п.4) проводится одним из нижеперечисленных методов (выберете свой вариант):

а) техническое нивелирование;

б) геодезическое нивелирование;

в) гидростатическое нивелирование;

г) барометрическое нивелирование;

д) стереофотограмметрические способы определения высот;

е) снятие высот с топографических карт.

В настоящее время широкое применение получили спутниковые системы позиционирования и навигации (ССП): GPS (NAVSTAR) и ГЛОНАСС. Благодаря своим уникальным возможностям ССП позволяют круглосуточно и практически при любых погодных условиях оперативно и с высокой точностью (в зависимости от класса применяемой аппаратуры - от единиц миллиметров до десятков метров) определить плановое положение и высоты пунктов геофизических наблюдений. По сравнению с традиционными методами спутниковые технологии навигационно-геодезических определений координат обеспечивают высокую производительность труда, автоматизацию полевых и камеральных работ. Но при крупномасштабных съемках (крупнее 1:10000) приходится применять техническое нивелирование

5.22. Камеральные работы

Перечисляются и обосновываются основные этапы текущей и камеральной обработки. В измеренные данные вводятся поправки за влияние лунно-суточных вариаций и смещение нуля гравиметра.

Вычисляют редукцию Буге с фактической и стандартными плотностями промежуточного слоя.

Особое внимание уделяют учету влияния дневного и подземного рельефа. Предпочтительнее использовать компьютерные технологии учета поправок, которые обеспечивают высокую точность и производительность.

Основным критерием оценки качества гравиметрической съемки является среднеквадратическая погрешность определения аномалии силы тяжести в редукции Буге:

$$\varepsilon_a=\pm(\varepsilon^2_{оп.}+\varepsilon^2_g+\varepsilon^2_Б+\varepsilon^2_{\gamma 0}+\varepsilon^2_{Р.})^{1/2},$$

где $\varepsilon_{оп.}$ - среднеквадратическая погрешность привязки полевой опорной сети (исходного пункта) к государственной опорной сети;

ε_g - среднеквадратическая погрешность определения наблюденных значений силы тяжести;

$\varepsilon_Б$ - среднеквадратическая погрешность определения поправки Буге;

$\varepsilon_{\gamma 0}$ - среднеквадратическая погрешность определения нормального значения силы тяжести;

$\varepsilon_р$ - среднеквадратическая погрешность определения поправки за влияние рельефа местности.

В проекте нобходимо привести вычисленные погрешности ε_g, $\varepsilon_Б$, $\varepsilon_{\gamma 0}$, ε_a.;

$\varepsilon_Б=[(0.3086-0.0419\sigma_{пр.сл.})^2\times\varepsilon^2_Н+(0.0419Н)^2\varepsilon^2_\sigma]^{1/2}$.

Здесь $\varepsilon_Н$ - в метрах берется из колонки 5 табл. 1. Погрешность $\varepsilon_{\gamma 0}$ определяют по формуле, мГал

$\varepsilon_{\gamma 0}=\Delta\gamma_0*\delta x/L=\delta_{\gamma 0}*\delta x$,

где $\Delta\gamma_0$ - изменение γ_0 на 1^0 широты в условиях пректного участка съемки,

L - длина дуги меридиана в 1^0;

$\delta\gamma_0$ - нормальный горизонтальный градиент силы тяжести;

δx - среднеквадратическое отклонение фактического положения гравиметрических пунктов от проектного положения в направлении меридиана (для проекта берется из колонки 6 табл.1).

Пример. При съемке масштаба 1:10000 в Свердловской области ε_g=0.06 мГал; $\varepsilon_Б$=0.2×0.2=0.04 мГал; $\varepsilon_{\gamma 0}$=0.0007×4=0.003 мГал. Нормальный горизонтальный градиент для Свердловской области вычислен следующим образом; для широты 57^0 γ_0=981658.2 мГал, для широты 56^0 γ_0=981574.2 мГал. Считая Землю шаром с радиусом 6370 км,
$\delta\gamma_0$=(981658.2-981574.2):(6.28×6370000/360)=0.0007 мГал/м,
$\varepsilon_a=(0.06^2+0.04^2+0.003^2)^{1/2}$=0.072 мГал.

Согласно табл.1 допустимая ε_a=0.08 мГал. Разность между расчетной и проектной ε_a включает погрешность привязки исходного пункта к государственной опорной сети и погрешность учета влияния рельефа.

Образец выполнения титульного листа пояснительной записки курсового проекта приведен в прил. 3.

Приложение 1

Категории местности по трудности передвижения [18]

I. Местность равнинная степная или лесостепная, крутизна склонов не более 10^0, не более 20 % площади участка заболочено, залесено, занято строениями; не более 50 % занято пашней.

Переезд возможен на автомобиле с объездами до 20 % расстояния между пунктами наблюдений.

II. Местность слабовсхолмленная степная, лесостепная с развитой сетью неглубоких оврагов, водостоков при наличии отдельных возвышенностей с крутизной склонов до 20^0; до 40 % площади заболочено, залесено, занято строениями; до 70 % площади занято пашней.

Объезды на транспорте с пониженной скоростью не превышают 20 % расстояний между пунктами и 70 % - при переезде на автомобиле.

III. Местность сильно пересеченная, с развитой сетью оврагов, водостоков, при наличии отдельных возвышенностей с крутизной склонов до 25^0; поймы рек, заросшие кустарником; районы, где более 70 % занято пашней; слегка заболоченная тундра; территория, до 60 % занятая солончаками, заболоченными и залесенными участками или поливными культурами, строениями; пустыня, 40 % площади которой, занято незакрепленными песками; территория вблизи (до 1 км) действующих промышленных предприятий.

Объезды на вездеходах не превышают 50 % расстояния между пунктами наблюдений, на автомобилях повышенной проходимости объезды превышают 70 % расстояния между пунктами наблюдений.

IV. Местность горная, отдельные возвышенности имеют крутизну склонов до 30^0; крупные массивы поливных культур; сплошное распространение барханных песков; таежная местность или полностью покрытая лесом с буреломом и сплошными зарослями кустарника; незамерзающие болота занимают 60 % площади; болотистая тундра и лесотундра.

Перемещение возможно пешком, на лыжах, вьючным транспортом с небольшими объездами; перемещение с помощью вездехода возможно по отдельным маршрутам с объездами более 50 % расстояния между пунктами наблюдений.

Приложение 2

СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В целях повышения эффективности геологоразведочных работ их выполняют в определенной последовательности: геологоразведочный процесс делят на этапы и стадии.

При поисках и разведке **месторождений нефти и газа** выделяют три этапа **- региональный, поисковый и разведочный.**

На **региональном** этапе изучают основные закономерности геологического строения слабо изученных осадочных бассейнов и отдельных литолого-стратиграфических комплексов, оценивают нефтегазоносность крупных территорий. Региональный этап делят на две стадии:

1) стадия прогноза нефтегазоносности, на которой выделяют наиболее перспективные, первоочередные объекты;

2) стадия оценки зон нефтегазонакопления, на которой оценивают потенциальные и прогнозные ресурсы этих зон.

На поисковом этапе основная задача - обнаружение новых месторождений или новых залежей на ранее открытых месторождениях. Поисковый этап делят на две стадии:

1) стадия выявления и подготовки объектов к поисковому бурению, на которой в пределах перспективных зон выделяют перспективные локальные объекты-ловушки, передают их на поисковое бурение, устанавливают очередность глубокого бурения;

2) стадия поиска месторождений или залежей, на которой локальные объекты подробно изучают; стадия завершается либо получением первого промышленного притока нефти, либо обоснованием бесперспективности объекта.

На **разведочном** этапе выполняют исследования, обеспечивающие возможность разделения месторождений или залежей на промышленные и непромышленные, определить запасы углеводородов, подготовить объекты к разработке.

Этапы и стадии геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые) [13]

Этап, стадия	**Объект изучения**	**Цель работ**	**Основной конечный результат**
1	2	3	4
Этап I. Работы общегеологического минерагенического назначения			
Стадия I. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых.	Территория Российской Федерации, ее крупные геолого-структурные, экономические, горнорудные и нефтегазоносные регионы, шельф и ис-	Создание фундаментальной многоцелевой геологической основы прогнозирования полезных ископаемых, обеспечение различных отраслей промышленности и сельского хозяйства систематизированной геологической информацией для решения вопро-	Комплекты обязательных и специальных геологических карт различного назначения масштабов 1:1000000, 1:200000, 1:50000; сводные и обзорные карты геологического содержания масштабов 1:500000 и мельче, комплект карт, схем и разрезов глубинного строения

	ключительная экономическая зона, глубинные части земной коры, районы с напряженной экологической обстановкой, районы интенсивного промышленного и гражданского строительства, мелиоративных и природоохранных работ и др.	сов в области геологоразведочных работ, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, экологии и т.п.	недр Рос-сийской Федерации, ее регионов; комплексная оценка минерагенического потенциала изученных территорий с выделением перспективных рудных районов и узлов, зон, угленосных бассейнов; определение прогнозных ресурсов категорий P_3 и $P_{2;}$; оценка состояния геологической среды и прогноз ее изменения.
Этап II. Поиски и оценка месторождений.			
Стадия 2. Поисковые работы.	Бассейны, рудные районы, узлы и поля с оцененными прогнозными ресурсами категорий P_3 и P_2.	Геологическое изучение территории поисков; выявление проявлений и месторождений полезных ископаемых; определение целесообразности их дальнейшего изучения.	Комплексная оценка геологического строения и перспектив исследованных площадей, выявленные проявления и месторождения полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по категориям P_2 и P_1; оценка возможности их освоения на основе укрупненных показателей; обоснование целесообразности и очередности дальнейших работ.
Стадия 3. Оценочные работы.	Проявления и месторождения полезных ископаемых с оцененными прогнозными ресурсами категорий P_2 и P_1.	Геологическое изучение и геолого-экономическая оценка проявлений и месторождений; отбраковка проявлений, не представляющих промышленной ценности.	Месторождения полезных ископаемых с оценкой их запасов по категориям C_2 и C_1, а по менее изученным участкам – прогнозных ресурсов категории P_1; технико-экономическое обоснование временных кондиций и промышленной ценности месторождения.
Этап III. Разведка и освоение месторождений			

Стадия 4. Разведка месторождения.	Месторождения полезного ископаемого с оцененными запасами по категориям C_2 и C_1 и прогнозными ресурсами категории P_1.	Изучение геологического строения, технологических свойств полезного ископаемого, гидрогеологических, инженерно-геологиче- ских условий отработки месторождения; технико- экономическое обоснование промышленной ценности и освоения месторождения; уточнение геологического строения месторождения в процессе освоения на недостаточно изученных участков (фланги, глубокие горизонты) с переводом запасов из низших в более высокие категории.	Геологические, гидрогеологические, горно-геологические, технологические и другие данные, необходимые для составления технико-экономического обоснования постоянных кондиций и освоения месторождения; подсчитанные запасы по категориям А, В, C_1, C_2.
Стадия 5. Эксплутационная разведка.	Эксплуатационные этажи, горизонты, блоки, уступы, подготавливаемые для очистных работ.	Уточнение полученных при разведке данных для оперативного планирования добычи, контроль за полнотой и качеством отработки запасов	Запасы подготовленных и готовых к выемке блоков; исходные материалы для оценки полноты отработки месторождения, уточнение потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Приложение 3

Образец выполнения титульного листа объяснительной записки курсового проекта

Министерство образования Российской Федерации
Уральская государственный горный университет

Институт геологии и геофизики

Кафедра структурной геофизики

ГЕОЛОГО - МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА НА ПРОИЗВОДСТВО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ И МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ МАСШТАБА 1:10000 НА ЮЖНОМ УЧАСТКЕ САРБАЙСКОГО РАЙОНА С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В 2023 г.

Пояснительная записка курсового проекта
по дисциплине «Гравиразведка

Оценка проекта_____

Руководитель
проф., д - р геол.-минерал. наук Э.В. Иванов
Разработал
студент гр. РФ-18-3 Д.В. Серебряков

Екатеринбург, 2023

Таблица 2

Нормы времени на гравиразведку с наземными гравиметрами. Летний период. [16]

Расстояние между профилями,м	Расстояние между пунктами, м	Количество пунктов	Количество приборо-смен						
			Передвижение пешее, оператор с 1 гравиметром				Передвижение на автомобиле		
			Категория трудности						
			I	II	III	IV	I	II	III
100	20	500	4.00	4.90	5.80	7.19	-	-	-
100	100	100	1.11	1.33	1.58	2.06	0.82	1.01	1.24
250	50	80	0.73	0.88	1.05	1.31	-	-	-
500	250	80	1.37	1.56	1.83	2.48	0.77	0.98	1.25
500	500	40	1.13	1.25	1.53	2.13	0.44	0.58	0.76
1000	250	40	0.69	0.78	0.91	1.24	0.39	0.49	0.63
1000	500	20	0.56	0.62	0.76	1.06	0.22	0.29	0.38
2000	500	10	0.28	0.31	0.38	0.53	0.11	0.14	0.19
2000	1000	50	2.50	2.78	3.42	5.04	0.67	0.88	1.17
4000	2000	12.5	1.25	1.34	1.66	2.33	0.25	0.33	0.46

Расстояние между профилями, км	Расстояние между пунктами, км	Количество пунктов	Передвижение на вертолете (самолете)			
			Категория трудности			
			Ia	IIa	IIIa	IVa
2	2	250	9.40	12.3	20.0	25.6
5	5	40	1.79	2.29	3.57	4.52
8	8	15.62	0.784	0.976	1.50	1.89
10	10	100	5.65	6.81	10.2	12.8
20	20	25	1.81	2.25	3.19	3.85
30	30	11.11	1.09	1.27	1.73	2.05
50	50	4	0.574	0.644	0.834	0.937

Пример. Для съемки масштаба 1:50000 по сети 500×250 м для местности III категории трудности (залесенная местность), при пешем передвижении норма времени 2.05 приборо-смены на съемку 80 пунктов; $\Delta t_{эф}$ для рядо-

вой съемки равна 3 - 3.5 часа. При 8-часовом рабочем дне норма на 1 час равна 80:(8×2.05)=5 пунктов. За $\Delta t_{эф}$=3 часа нужно выполнить наблюдения

ЛИТЕРАТУРА

1 Виноградов В.Б. Гравиразведка. Гравитационное поле Земли, аппаратура, методика измерений. Учебное пособие. Ай Пи Ар Медиа. Москва. 153 с. 2023. Текст электронный.

2 Виноградов В.Б., Болотнова Л.А. Гравиметры. Учебное пособие. УГГУ. – Екатеринбург. Изд. УГГУ.2010. 67 с.

3. Гравиметры наземные: Общие технические условия. ГОСТ 13017-83.-М.: Изд-во стандартов, 1987. - 36 с.

4. Гравиметр узкодиапазонный с кварцевой чувствительной системой класса С ГНУ-КС: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1989. - 46 с.

5. Гравиразведка: Справочник геофизика / Под ред. Е.А. Мудрецовой, К.Е. Веселова. - 2-е изд.-М.:Недра, 1990. - 607 с.

6. Инструкция по гравиразведке: Единые технические требования. Часть 5. - М., 1980. - 80 с.

8 Долгаль А.С. Гравиметрия и магнитометрия: трансформации геопотенциальных полей. Учебное пособие. ПГНИУ. Пермь. 2022. 140 с.

9. Макет проекта на общие (детальные) поиски твердых полезных ископаемых. - М., 1982.

10. Методические рекомендации по интерпретации геофизических данных при крупномасштабном геологическом картировании. - Свердловск: Изд. УПГО “Уралгеология”, 1983. - 301 с.

11. Петрофизические методы поисков и изучения железорудных месторождений на Урале: Методические рекомендации. - Свердловск: Изд. УПГО “Уралгеология”, 1988.

12. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные исколаемые).- М.: МПР РФ, ВИЭМС, 1999.

13. Развитие гравиметрии и магнитометрии в XX веке: Труды конференции / Под ред. В.Н. Страхова. - М.: ОИФЗ РАН, 1997. - 234 с.

14. Справочник сметных норм. Выпуск 3. - М.: Недра, 1993.

15. Суворов В.В. Гравиразведка: Курс лекций для бакалавров. Часть -1.- Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1995. - 124 с.

16. Суворов В.В. Гравиразведка: Курс лекций для бакалавров. Часть 2. –Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. - 180 с.

17. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): Справочник геофизика / Под ред. Н. В. Дортман - М: Недра, 1984.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению контрольной работы
по дисциплине «Магниторазведка»
для студентов всех форм обучения специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы
поисков и разведки МПИ (РФ)»

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
1. Задания контрольной работы
2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
   2.1 Оформление контрольной работы
   2.2 Критерии оценки контрольной работы
3. Методические рекомендации по составлению глоссария
4. Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Введение

Данные методические указания разработаны в помощь для выполнения контрольной работы по курсу «Магниторазведка».

В методических рекомендациях содержится: перечень вопросов контрольной работы, методические рекомендации по выполнению контрольной работы, перечень рекомендуемых учебных изданий, интернет-ресурсов, дополнительной литературы.

Внимательно прочитайте задание контрольной работы, подготовьте рекомендуемую вам литературу (при необходимости), ознакомьтесь с рекомендациями по выполнению работы, с критериями оценивания работы.

Прежде чем сдать выполненную контрольную работу преподавателю на проверку, выполните самооценку по заданным критериям.

Контрольная работа является обязательной для каждого обучающегося и определяется учебным планом. Наличие положительной оценки по контрольной работе необходимо для получения промежуточной аттестации по дисциплине «Магниторазведка».

1. Задания для контрольной работы

Вариант № 1

1. История возникновения теории земного магнетизма.
2. Нормальное магнитное поле Земли и гипотезы его происхождения.

Вариант № 2

1. Инверсии магнитных полюсов Земли. Опишите в чем отличие магнитного полюса Земли от геомагнитного?
2. Применение исследований магнитного поля Земли в археологии.

Вариант № 3

1. Роль отечественных ученых в развитии метода магниторазведки.

2. Вариации магнитного поля Земли и их причины. Способы учета вариаций при проведении магниторазведочных работ.

Вариант № 4

1. Природа магнитного поля Земли (рассмотреть гипотезы, в том числе теории гидромагнитного динамо).
2. Палеомагнетизм и археомагнетизм.

Вариант № 5

1. История изучения Курской магнитной аномалии (КМА).
2. Современное состояние развития магниторазведочной аппаратуры и оборудования.

Вариант № 6

1. Магнитные свойства горных пород.
2. Вариации магнитного поля Земли и методы их учета.

Вариант № 7

1. Прямая и обратная задачи магниторазведки.
2. Нормальное магнитное поле Земли и гипотезы его происхождения.

Вариант № 8

1. Единицы измерения магнитных величин в системах СГС и СИ. Напряженность магнитного поля и магнитная индукция.
2. Структура магнитного поля Земли (нормальное и аномальное поля).

Вариант № 9

1. Палеомагнетизм и археомагнетизм. Физическая основа применения этих методов и решаемые задачи.
2. Региональные и локальные магнитные аномалии. Понятие положительной и отрицательной аномалий.

Вариант № 10

1. Применение исследований магнитного поля Земли в археологии.
2. Современное состояние развития магниторазведочной аппаратуры и оборудования.

Вариант № 11

1. Назначение, устройство, принцип действия и область применения протонных магнитометров
2. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость горных пород.

Вариант № 12

1. Назначение, устройство, принцип действия и область применения квантовых магнитометров
2. Индукционная и остаточная намагниченность пород и причина их образования. Виды остаточной намагниченности.

Вариант № 13

1. Назначение, устройство, принцип действия и область применения феррозондовых магнитометров
2. Региональные и локальные магнитные аномалии. Понятие положительной и отрицательной аномалий.

Вариант № 14

1. Магнитосфера и радиационные пояса Земли. Способы их изучения.
2. Аналитическое выражение магнитного поля Земли как поля диполя.

Вариант № 15

1. Коэффициент размагничения и его роль в формировании индукционной намагниченности пород.
2. Рассчитать магнитное поле Z_0, H_0 и T_0 для Екатеринбурга.

2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Контрольная работа является индивидуальной самостоятельно выполненной работой студента.

Контрольная работа должна содержать следующие структурные элементы:

1. титульный лист;
2. содержание;
3. ответы на контрольные вопросы;
4. список использованных источников;
5. приложения (при необходимости).

Количество источников в списке определяется студентом самостоятельно, рекомендуемое количество от 5 до 10. При этом в списке обязательно должны присутствовать источники, изданные в последние 5 лет.

2.1 Оформление контрольной работы

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

– текст располагается на одной стороне листа белой бумаги формата А-4;

– размер шрифта - 14 Times New Roman, цвет – черный;

– междустрочный интервал – полуторный;

– поля на странице – размер левого поля – 2 см, правого – 1 см, верхнего - 2 см, нижнего – 2 см;

– текст должен быть отформатирован по ширине листа;

– на первой странице необходимо изложить план (содержание) реферата;

– в конце работы необходимо указать источники использованной литературы.

Список использованных источников должен формироваться в алфавитном порядке по фамилии авторов.

Включенная в список литература нумеруется сплошным порядком от первого до последнего названия. По каждому литературному источнику указывается: автор (или группа авторов), полное название книги или статьи, место и наименование издательства (для книг и брошюр), год издания; для журнальных статей указывается наименование журнала, год выпуска и номер. По сборникам трудов (статей) указывается автор статьи, ее название и далее название книги (сборника) и ее выходные данные. На использованные источники в тексте работы должны быть ссылки

2.2 Критерии оценки контрольной работы

Срок сдачи готовой контрольной работы определяется утвержденным графиком. В случае отрицательного заключения преподавателя студент обязан доработать или переработать контрольную работу. Срок доработки контрольной работы устанавливается преподавателем с учетом сущности замечаний и объема необходимой доработки.

Контрольная работа оценивается по системе:

Оценка "отлично" выставляется за контрольную работу, которая носит исследовательский характер, содержит грамотно изложенный материал, с соответствующими обоснованными выводами.

Оценка "хорошо" выставляется за грамотно выполненную во всех отношениях контрольную работу при наличии небольших недочетов в его содержании или оформлении.

Оценка "удовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая удовлетворяет всем предъявляемым требованиям, но отличается поверхносностью, в ней просматривается непоследовательность изложения материала, представлены необоснованные выводы.

Оценка "неудовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая не носит исследовательского характера, не содержит анализа источников и подходов по выбранной теме, выводы носят декларативный характер.

Обучающийся, не представивший в установленный срок готовую контрольную работу, которая была оценена на «неудовлетворительно», считается имеющим академическую задолженность и не допускается к сдаче экзамена или зачета.

3. Составление глоссария

Выполнить подбор и систематизации терминов, непонятных слов и выражений, встречающихся при выполнении контрольной работы. Расположить после основной части контрольной работы название и значение терминов, слов и понятий в алфавитном порядке.

Роль студента: прочитать материал источника, выбрать главные термины, непонятные слова; подобрать к ним и записать основные определения или расшифровку понятий; критически осмыслить подобранные определения и попытаться их модифицировать (упростить в плане устранения избыточности и повторений.

4.Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Основная литература

1. Виноградов В.Б., Болотнова Л.А. Магниторазведка: Практикум, Часть I. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2012.- 100 с.
2. Инструкция по магниторазведке: наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка /Под ред. Ю.С.Глебовского и В.Е.Никитского. Л.: Недра, 1981. 364 с.
3. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: Недра, 1979. 351 с.
4. Магниторазведка: Справочник геофизика/ Под ред. В.Е. Никитского и Ю.С. Глебовского. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. 470 с.
5. Соколов, А. Г. Полевая геофизика [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Г. Соколов, О. В. Попова, Т. М. Кечина. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015. - 160 с. - 978-5-7410-1182-9. - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/ 33649.html

Дополнительная литература

1. Гринкевич Г.И. Магниторазведка: Учебник. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – 308 с.

2. Гордин В.М., Розе Е.Н., Углов Б.Д. Морская магниторазведка. М.: Недра, 1986. -232 с.
3. Магнетизм горных пород / Т. Нагата; Пер. с англ. В. П. Августиновича и др. ; Под ред. д-ра физ.-мат. наук Г. Н. Петровой. - М. : Мир, 1965. - 347 с.
4. Миков Д.С. Методы интерпретации магнитных аномалий. Томск.: изд. ТПИ, 1975. -180с.
5. .Ревякин П.С. Бредовой В.В., Ревякина Э.А. Высокоточная магниторазведка. М.: Недра, 1986. 275 с.
6. Скважинная магниторазведка: Методические рекомендации в двух частях. Под ред. В.Н.Пономарева, А.Н.Авдонина.-Свердловск:ПГО «Уралгеология», 1984.-240 с.
7. Стадухин В.Д.,Туранов В.М., ШабановаН.Н. и др. Метод искусственного подмагничивания при поисках магнетитовых месторождений: Методические рекомендации.-Свердловск: УНЦ АН СССР.1982.
8. Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. Л.: Недра, 1981. 327 с.
9. Трухин В.И. Введение в магнетизм горных пород.-М.: Изд МГУ, 1973.
10. Храмов А.Н., Шолпо Л.Е. Палеомагнетизм: Принципы, методы и геологические приложения палеомагнитологии. Труды Всесоюзного нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института (ВНИГРИ). Выпуск 256., 1967.- 224 с.
11. Хасанов Д.И. Магниторазведка. Казань: Казанский государственный университет, 2009г.
12. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 592 с.

Единое окно доступа к образовательным ресурсам - Режим доступа: http://window.edu.ru

Составитель: _____ Л.А. Болотнова, доцент, к.г.-м.н.
подпись

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

Г. С. Возженников, Ю. В. Белышев

РАДИОМЕТРИЯ
И
ЯДЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА

Екатеринбург – 2020

Ядерные методы в разведочной геофизике

Радиометрия и ядерная геофизика – научные дисциплины, входящие составными разделами в современную область знаний среди наук о земле – «разведочную геофизику».

В отличие от «большой геофизики», которая имеет отношение к физическим процессам глобальных масштабов, протекающим в околоземном пространстве или на значительных глубинах внутри Земли, – ***объектом*** исследований разведочной геофизики является земная кора и скрытые в ней минеральные ресурсы.

Предметом исследований разведочной геофизики являются физические поля, в особенности их деформации (аномалии), вызываемые присутствием в природных средах объектов, отличающихся по физическим свойствам от вмещающих пород.

Радиометрия объединяет в своем составе методы, основанные на изучении *естественной* радиоактивности природных сред, а ***ядерная геофизика*** имеет дело с *искусственно*-радиоактивными полями.

Несмотря на очевидную общность радиометрических и ядерно-геофизических методов, в основе которых лежит явление радиоактивности, существует различие в областях применения и характере решаемых задач с использованием естественной и искусственной радиоактивности.

Главной ***задачей*** радиометрических исследований является получение сведений, которые могут оказаться полезными (или решающими) при поисках, разведке и добыче радиоактивных руд и полезных ископаемых, генетически или парагенетически связанных с естественно-радиоактив-ными элементами (ЕРЭ). Радиометрические измерения при этом настолько же целесообразны, насколько необходимы, например измерения напряженности магнитного поля при поисках и разведке магнетитовых руд. Кроме главной, существуют и другие задачи, решение которых облегчается при наличии данных об особенностях поведения естественной радиоактивности природных сред в изучаемом регионе.

Хорошо известна высокая эффективность воздушной или автомобильной γ-спектрометрии для геологического картирования горных пород (например гранитов), отличающихся повышенными величинами кларков ЕРЭ. Минимальными значениями γ-полей характеризуются ультрабазиты, а также отложения известняков и некоторых других пород. Радиометрические

исследования широко используются при разведке и эксплуатации месторождений калийных солей, горючих сланцев, углей, фосфоритов, бокситов, редкометальной минерализации и других месторождений, связанных с аномальными проявлениями естественной радиоактивности.

Применение методов, основанных на использовании искусственной радиоактивности, оказалось эффективным на разных стадиях геологоразведочных работ (съемка, поиски, разведка и эксплуатация) применительно к очень широкому перечню полезных ископаемых.

Топливо (нефть, газ, уголь, уран), руды черных, цветных, редких и благородных металлов, месторождения нерудных полезных ископаемых (фосфориты, флюориты, сырье для керамической промышленности, асбест, пьезооптическое сырье), другие виды минерального сырья – объекты, поиски, разведку и эксплуатацию которых в настоящее время трудно проводить без привлечения ядерно-геофизических методов.

Останавливаясь на областях применения радиометрических и ядерно-геофизических методов, следует подчеркнуть, что получаемые с их помощью сведения об особенностях состава и свойств природных сред носят дистанционный характер. Речь идет об *изучении вещества на расстоянии*, что важно не только в практике геологоразведочных работ, но и для других целей. Так, с помощью γ-γ-плотномера, установленного на автоматической станции «Луна-13», были впервые получены сведения о плотности лунного грунта, а с помощью рентгенорадиометрического анализатора «РИФМА» (радиоизотопный флуоресцентный метод анализа) – сведения о составе лунных пород по трассам перемещения луноходов.

Существенным недостатком практически каждого из радиометрических методов является малая представительность получаемой информации, что объясняется большой поглощающей способностью твердых веществ по отношению к ядерным излучениям. По этой причине имеется отличие эффективности ядерных методов на разных стадиях геологоразведочных работ. Известно, что их поисковые возможности заметно уступают по эффективности результатам, получаемым на разведочной и, особенно, на эксплуатационной стадии, где ядерные методы практически незаменимы при контроле и управлении качеством минерального сырья.

В последние годы развивается новое направление в ядерно-геофизических исследованиях, связанное с дистанционным изучением особенностей состава околорудных гидротермально-измененных пород. Известно, что наличие ореолов гидротермального метасоматоза является

необходимой (хотя и недостаточной) предпосылкой для локализации оруденений гидротермального типа. Значительные размеры метасоматических ореолов, обычно во много раз превышающие размеры рудных тел, многократно увеличивают геохимическую «глубинность» ядерных методов, ориентированных на обнаружение и оконтуривание околорудных изменений.

Конечно, главная отдача от использования ядерных методов связана с ***разведкой*** месторождений, где они особенно широко используются для бескернового определения границ коллекторов нефти и газа, мощности угольных, рудных подсечений и других целей, включая решение проблемы дистанционной оценки линейных запасов полезной компоненты в рудных интервалах разведочных скважин. Несмотря на значительную отдачу в использовании ядерных методов при поисках и разведке, их применение на стадиях ***добычи*** и ***переработки*** минерального сырья рассматривается как не менее перспективное.

Известно, что совершенствование технологических процессов на добывающих и перерабатывающих предприятиях во многом зависит от достоверной и оперативной информации о качестве минерального сырья. Широко используемые для этой цели традиционные методы опробования и химического анализа во многих случаях не в состоянии удовлетворить требованиям современного производства в основном из-за низкой оперативности. Именно по этой причине на добывающих и перерабатывающих предприятиях все шире и с возрастающими масштабами используются геофизические, и в первую очередь ядерно-геофизические методы экспрессного контроля качества минерального сырья [15,33,38,75].

Помимо предприятий по добыче урановых руд, опыт радиометрического и ядерно-геофизического контроля и обогащения сырья имеется и на объектах других отраслей. Например, на предприятиях цветной металлургии для контроля и управления качеством оловосодержащего сырья широко используется рентгенорадиометрический метод (РРМ), основанный на явлении фотопоглощения γ-лучей и на законе Мозли. На основе этого метода разработаны эффективные технологии контроля качества полиметаллических руд на Pb и Zn, W и Mo, Ti в ильменитовом концентрате, Nb и Ta в редкометальных карбонатитах, другие полезные ископаемые, включая Sb, As и Ag. Для контроля качества руд легких элементов (Li, Be, B) высокоэффективными оказались методы нейтронной геофизики из-за высоких сечений захвата тепловых нейтронов ядрами лития и бора и благоприятной предпосылки для фотонейтронного расщепления бериллия.

На горнорудных предприятиях черной металлургии в последнее время начал применяться γ-абсорбционный метод, позволяющий получать оперативные сведения о содержании полезной компоненты в исследуемом материале так называемого квазибинарного состава. Наиболее подробно этот метод разработан применительно к хромитовым рудам Донского горно-обогатительного комбината (ГОКа), где использовался в различных вариантах, включая непрерывный анализ на конвейерной ленте.

Предложенная и разработанная уральскими геофизиками (Институт горного дела УрО РАН и кафедра ядерной геофизики УГГГА) технология γ-абсорбционных измерений на Cr оказалась универсальной, принципиально пригодной для квалиметрических целей при эксплуатации месторождений, руды которых по γ-лучевым свойствам могут быть отнесены к квазибинарным. Можно показать, что кроме хромитов к таким рудам относятся также марганцевые, железные и некоторые другие, например целестиновые, а также бруситы (если оценивать их качество по содержанию CaO).

Применительно к железным рудам γ-абсорбционный метод (ГАМ) может оказаться полезным при необходимости получения сведений о содержании так называемого общего Fe или когда связь между магнитной восприимчивостью и массовой долей железа оказывается неустойчивой.

При благоприятном поведении элементного состава матрицы γ-абсорбционный метод оказывается весьма эффективным при контроле и управлении качеством Mn-содержащего минерального сырья. В последнее время уже получены положительные результаты по использованию γ-просвечивания в условиях ферросплавного производства для целей дозирования марганцевого агломерата. Интересные результаты получены с помощью γ-абсорбционных измерений при оценке качества огнеупорного сырья (бруситы и продукты их переработки – периклазовый порошок).

В отличие от многочисленных разновидностей γ-γ-метода, работающих в режиме «отражения», γ-просвечивание позволяет получать экспрессную и достоверную информацию о ***количестве*** дробленого материала, прошедшего через рудоконтрольный пункт за произвольное время. Имеются и другие примеры эффективного использования методов ядерной геофизики в практике горнодобывающих работ, однако подлинные возможности ядерных и других геофизических методов для контроля и управления качеством минерального сырья еще далеко не исчерпаны.

Главным препятствием для более широкого использования прогрессивных «горно-геофизических» технологий является практическое

отсутствие геофизической службы на горно-обогатительных комбинатах ряда отраслей. Но даже и там, где такие службы в свое время были сформированы (урановое и редкометальное сырье, некоторые предприятия цветной и черной металлургии), ощущается острый недостаток геофизиков «горного профиля», поскольку отсутствует целенаправленная подготовка таких специалистов. В технических вузах горно-геологического профиля отсутствуют выпускающие кафедры горной геофизики, хотя необходимость в геофизиках для горно-металлургических предприятий является очевидной.

Важной областью применения ядерных методов является их использование для аналитических целей, особенно для надежного и экспрессного определения массовых долей редких и драгоценных металлов. Например, с помощью γ-активационного метода присутствие Au в геологических пробах определяется практически немедленно по интенсивности аналитической линии γ-излучения изомера Au^{197m}, образующегося в результате ядерной реакции (γ, γ′) за счет материнского изотопа Au^{197}. Для количественных определений Au широко используется также нейтронно-активационный анализ (НАА). В этом случае оказывается возможным определение Au в активированных пробах по искусственно-радиоактивному изотопу Au^{198}, который образуется в результате ядерной реакции (n, γ), идущей на тепловых нейтронах. При наличии достаточно мощных потоков нейтронного излучения, например с использованием нейтронных каналов реакторов атомных станций, оказывается возможным количественное определение содержания Au в пробах на кларковом уровне.

Нейтронный активационный анализ успешно используется в аналитических целях не только на Au, но и на другие элементы, включая редкоземельные. При этом в ряде случаев отсутствует необходимость «нейтронной накачки» исследуемых проб с помощью нейтронных каналов АЭС. К настоящему времени на вооружении геофизиков имеются полевые лаборатории с γ-спектрометрической аппаратурой и источниками нейтронов с выходом до 10^{11} н/с. Гамма-спектры активированных проб регистрируются с помощью полупроводниковых детекторов, а для расшифровки и интерпретации спектров применяется бортовая ЭВМ. Такая лаборатория для экспрессного многоэлементного анализа геологических проб создана, например, в Канаде [35]. Применение детекторов с высоким энергетическим разрешением позволяет идентифицировать одновременно более 20 редких элементов с пределом обнаружения 10^{-4} %. В полевых условиях используется также малогабаритная установка для многоэлементного нейтронно-активационного анализа, разработанная в США. В установке применяется калифорниевый

источник нейтронов с выходом $3 \cdot 10^7$ н/с (масса Cf^{252} – 12 мкг). Анализ ведется по короткоживущим радионуклидам, образующимся в результате ядерной реакции (n, γ). С помощью этой установки оказывается возможным экспрессное количественное определение Al и 12 редких элементов. Предел обнаружения Sc, V, Co, Se, Br, Ag и Dy - менее 1 мкг; Al, Ti, Cu и Gd – от 1 до 10 мкг; Ro и Ir – от 10 до 100 мкг [35].

Кроме отмеченных, имеются и другие варианты полевых ядерно-геофизических лабораторий, предназначенных для получения достоверной и экспрессной информации относительно особенностей элементного состава исследуемых природных сред. Например, на основе узкополосного дифференциального детектора (УДД) в НПО «Буревестник» разработана серия отечественных портативных рентгеновских приборов, обеспечивающих экспрессное определение ряда элементов, включая раздельное определение элементов со смежными атомными номерами, например Cr, Mn, Fe.

Особую роль в геологии и других отраслях знаний (археология, биология) играют способы датировки природных сред и живых организмов, в основе которых лежит постоянство скорости «остывания» любых, в том числе долгоживущих радионуклидов. К настоящему времени детально разработаны K-Ar, Rb-Sr, радиоуглеродный, U-Pb и другие методы определения абсолютного возраста самых разнообразных объектов.

Краткая история развития ядерных методов

Ядерная геохронология – это, пожалуй, первое приложение явления радиоактивности в геологии. Уже в 1902 г. П. Кюри, а вслед за ним Э. Резерфорд высказали мысль о том, что скорость радиоактивного распада элементов может быть использована в качестве эталона времени для определения абсолютного возраста горных пород. В 1907 г. эта идея получила практическое осуществление. Английский физик Б. Болтвуд по содержанию в горных породах U и конечного продукта его распада – Pb впервые определил абсолютный возраст урансодержащих минералов. В дальнейшем радиологические методы датировки минералов непрерывно совершенствуются и расширяются.

Кроме U-Pb-метода, разрабатываются U-He-, K-Ar-, Rb-Sr- и другие методы. В США в 1923 г. была организована специальная комиссия по измерению геологического возраста радиоактивными методами. В нашей стране такие измерения начали проводиться в Радиевом институте с 1924 г. Отечественные специалисты В. Г. Хлопин, К. А. Ненадкевич, Э. К. Герлинг, Л. В. Комлев, И. Е. Старик и др. внесли большой вклад в разработку радиоактивных способов датировки горных пород.

Параллельно с разработкой ядерных методов непрерывно исследуются особенности распределения радиоактивных элементов в земной коре и изучается тепло, выделяющееся при распаде ЕРЭ. Ведущую роль в изучении распределения радиоактивных элементов в земной коре играли отечественные ученые. В 1912 г. по инициативе и под руководством академика В. И. Вернадского в России была организована Радиевая экспедиция Академии наук. В начале 30-х годов проблемы ядерной геохронологии и радиотермии определились настолько отчетливо, что появилась самостоятельная отрасль геологии – радиогеология. Основоположником радиогеологии как самостоятельной ветви наук о Земле является В. И. Вернадский. Большой вклад в развитие радиологии внесли А. Е. Ферсман, В. Г. Хлопин, К. А. Ненадкевич, А. П. Соколов, И. Е. Старик, Г. В. Войткевич, В. И. Баранов и др.

С открытием явления радиоактивности (А. Беккерель, 1896 г., М. Кюри, 1898 г.) непрерывно разрабатываются методы исследования этого фундаментального явления. Разрабатываются также методы поисков и разведки месторождений радиоактивных руд, других полезных ископаемых, связанных с радиоактивностью.

Первые полевые работы, связанные с изучением радиоактивности, были выполнены отечественными геофизиками на урановом месторождении Тюя-Муюн (Средняя Азия). Здесь в 1923 г. А. П. Кириковым впервые был применен эманационный радоновый метод с целью поисков рудных тел на площадях, перекрытых чехлом четвертичных отложений. Несколько позже (1923-1925) Л. Н. Богоявленским были выполнены первые измерения естественного γ-излучения с целью поисков полезных ископаемых.

Эманационная съемка, разновидности γ-измерений (включая γ-γ-каро-таж скважин), некоторые виды радиометрического анализа геологических проб, γ-опробование руд в условиях естественного залегания впервые возникли в нашей стране. Некоторые из этих методов параллельно развивались в Германии; в США они начали применяться на несколько лет позже.

В 1924-1925 гг. были организованы радиометрические комитеты при Геолкоме (А. П. Кириков) и при Институте прикладной геофизики (Л. Н. Богоявленский). Исследования велись как по линии полевых радиометрических измерений, так и по линии исследования радиоактивности геологических коллекций образцов горных пород. Уже в 1925 г. в результате радиометрического изучения коллекций геолога С. Ф. Машковцева было открыто Табошарское месторождение урановых руд в Средней Азии. В 1926-1927 гг. на этом месторождении были выполнены эманационные и γ-измерения, позволяющие обнаружить новые рудные тела.

Существенную роль в разработке радиометрических методов как методов разведочной геофизики сыграл радиометрический кабинет при Ленинградском центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте (А. П. Кириков, А. Г. Граммаков, Г. В. Горшков, Б. С. Айдаркин, П. Н. Тверской) и радиометрический кабинет при лаборатории ЦНИГРИ в Москве (В. И. Баранов, Е. Г. Грачева).

Курс лекций по радиометрии впервые прочитан Л. Н. Богоявленским в 1923-1924 гг. в Петроградском горном институте. В 1930 г. в Московском геологоразведочном институте создана первая в стране кафедра радиометрии во главе с В. И. Барановым (в настоящее время – кафедра ядерной геофизики и геоинформатики, зав. кафедрой – проф. А. А. Ники-тин).

Мощным толчком к дальнейшему развитию ядерно-геофизических методов послужила проблема поисков, разведки и эксплуатации месторождений нового вида энергетического и стратегического сырья – урана. С этой целью уже в первые послевоенные годы совершенствуется техника и методика радиометрических измерений. Появляются автомобильный и воздушный варианты γ-съемки. Развивается теория этих методов, методика измерений и способы интерпретации результатов. Создается и внедряется в практику γ-спектрометрическая аппаратура, позволяющая получать сведения о долях K, U и Th в суммарной γ-активности пород. А. Г. Граммаков, В. Л. Шашкин и др. разработали метод анализа радиоактивности горных пород в условиях естественного залегания (*in situ*) и в лабораториях. Полевые методы измерений естественной радиоактивности к настоящему времени достигли высокой степени развития. Эти методы в разных модификациях, от аэро-γ-спектрометрии до γ-измерений в скважинах (приоритет в изобретении γ-каротажа принадлежит отечественным геофизикам: Г. В. Горшков, Л. М. Курбатов, В. А. Шпак – 1935 г.) стали неотъемлемой частью геолого-съемочных, поисковых, разведочных и эксплуатационных работ.

Собственно ядерно-геофизические методы, составляющие арсенал современных средств ядерной геофизики и основанные на эффектах взаимодействия ядерных излучений с веществом, появились позже радиометрических методов. Их появление связано с потребностями отраслей хозяйства в различных видах минерального сырья: от нефти, газа и угля до редких и драгоценных металлов. Возможности ядерных методов заметно расширились благодаря развитию атомной энергетики, когда оказалось возможным получение в широких масштабах источников α-, β-, γ- и *n*-излучений.

Среди ядерно-геофизических методов важное значение принадлежит методам нейтронной геофизики, среди которых выделяется нейтронный активационный анализ. В его основе лежит явление искусственной радиоактивности, за открытие которого в 1934 г. французские физики Ирен и Фредерик Жолио-Кюри были удостоены Нобелевской премии. Несколько позже итальянский физик Э. Ферми предложил использовать нейтронное излучение для изучения состава вещества. Образующиеся в результате взаимодействия нейтронов с ядрами вещества искусственно-радиоактивные продукты являются объектом изучения в активационном анализе.

Вслед за фундаментальным открытием явления искусственной радиоактивности были предприняты успешные попытки использовать его для прикладных целей в различных областях науки и техники, в том числе и в геологии. В 1935 г. венгерские ученые Хевиши и Леви исследовали искусственно-радиоактивные изотопы, образующиеся при облучении нейтронами редкоземельных элементов. Эти работы положили начало развитию нейтронного активационного анализа. В 1940 г. Р. Е. Фирон предложил использовать активацию нейтронами Al для расчленения горных пород в скважинах при поисках бокситов. В патентной заявке содержалась схема глубинного зонда, в котором источник нейтронов заключался между двумя детекторами γ-лучей. При подъеме снаряда по скважине верхний детектор регистрировал интенсивность естественного γ-излучения, а нижний – суммарное γ-излучение (естественное и искусственно созданное).

В нашей стране предложение об использовании искусственной радиоактивности для литологического расчленения горных пород в скважинах было впервые высказано в 1946 г. А. А. Коржевым. Реализация этого предложения была начата в 1950 г. в Московском институте нефтяного хозяйства по инициативе проф. В. Б. Лапука, а с 1953 г. в Институте нефти АН СССР под руководством академика Г. Н. Флерова и проф. Ф. А. Алексеева.

Важным достижением в совершенствовании технологии геофизических исследований скважин следует считать предложенный в 1942 г. физиком-ядерщиком Б. Понтекорво нейтронный γ-метод, который позволил получать информацию о распределении Н по оси скважин. Появление этого метода по праву считается крупным «подарком» геологии со стороны физиков, поскольку благодаря возможности получения дистанционной информации о распределении водорода по разрезу скважины геологи оказались в состоянии перейти на бескерновое бурение нефтяных скважин.

В 1947 г. Холленбах предложил γ-γ-метод, основанный на регистрации рассеянного γ-излучения. Физической основой этого метода является эффект

Комптона, названный так в часть лауреата Нобелевской премии, исследовавшего процессы взаимодействия γ-квантов с электронами.

Период с 1950 г. характеризовался исследованиями по усовершенствованию γ-γ-метода. В 1954 г. метод впервые был успешно испытан для выделения рудных (М. М. Соколов, А. П. Очкур) и угольных подсечений в скважинах (Ю. П. Булашевич, Г. М. Воскобойников, 1955-1957 гг.). В 1957 г. Г. М. Воскобойников предложил модификацию γ-γ-каротажа с источниками мягких γ-лучей, названную им селективным γ-γ-каротажем (ГГК-С). Этот метод обладает высокой чувствительностью даже к небольшим изменениям эффективного атомного номера природных сред. В определенных условиях с помощью ГГК-С оказалось возможным определение концентрации тяжелых металлов в рудах (Г. М. Воскобойников) и зольности каменных углей (В. И. Уткин, 1966 г.). Значительный вклад в теорию и практику γ-γ-измерений внесли Е. М. Филиппов, И. Г. Дядькин, В. А. Арцыбашев и др.

В качестве важного этапа развития методов, основанных на взаимодействии γ-лучей с веществом, следует отметить исследования Л. Рейфела и Р. Хемфриса по рентгенофлуоресцентному анализу вещества с использованием источников γ-лучей. В 1958 г. А. Л. Якубович и В. Ю. Залесский разработали методику и аппаратуру для количественных определений металлов в геологических пробах, доказав реальную возможность применения метода, названного ими рентгенорадиометрическим (РРМ). Важным этапом в развитии этого метода были работы специалистов кафедры ядерной геофизики Ленинградского университета (В. А. Мейер, В. С. Нахабцев и др.) по созданию скважинного варианта РРМ. Разработка РРК послужила основой для широкого использования рентгенофлуоресцентного метода при исследовании состава руд в горных выработках (Е. П. Леман и др.), на обнажениях, т. е. в естественном залегании. В дальнейшем РРМ стал использоваться также как средство контроля и сортировки минерального сырья на ГОКах при добыче и обогащении руд цветных металлов.

Для контроля и управления качеством минерального сырья и продуктов переработки руд черных металлов весьма эффективным оказался также γ-абсорбционный метод, в разработке которого большую роль сыграли уральские геофизики (С. Г. Возженников, Ю. В. Белышев и др.).

В начале 60-х годов появились работы геофизиков Московского геологоразведочного института (В. М. Бондаренко, Г. Г. Викторов и др.), связанные с разработкой нового способа подземных геофизических исследований, основанного на регистрации проникающего космического излучения.

В середине 50-х годов заметно усилилось внимание к методам нейтронной геофизики. В 1956 г. академик Г. Н. Флеров обосновал применение так называемого импульсного варианта нейтрон-нейтронного каротажа (ННК) для решения ряда проблем нефтяной геофизики, например установление положения водонефтяного контакта в скважине. Появление импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК), разработка которого была выполнена С. А. Кантором, Ю. С. Шимилевичем, Б. Г. Ерозолимским, А. С. Школьниковым, Д. Ф. Беспаловым (ВНИИ ядерной геофизики и геохимии), ознаменовало начало внедрения скважинных генераторов нейтронов.

В рудной геофизике ядерные методы появились несколько позже, чем в нефтяной отрасли. В начале 60-х годов появились первые технологии дистанционного определения линейных запасов полезных ископаемых в рудных подсечениях разведочных скважин, пройденных с недостаточным выходом керна или его отсутствием: Cu в медных колчеданах (Г. С. Возженников, 1961 г), Al в бокситах (И. Н. Сенько-Булатный, 1963 г.), черные металлы (К. И. Якубсон, 1964 г.), F во флюоритовых рудах (В. Я. Бардовский, 1965 г.). Бериллий в редкометальных рудах – И. П. Кошелев, А. К. Сенько, Е. М. Филиппов, В. В. Шестаков и др., 1959-1966 гг.

С появлением полупроводниковых детекторов были решены задачи о редкометальных ассоциацях в связи с прогнозированием рудных месторождений (Au в черных сланцах Средней Азии – П. А. Ваганов, 1981 г.).

Историю развития методов ядерной геофизики невозможно с необходимыми подробностями изложить в вводном разделе курса лекций. Перечислим лишь основные организации, без упоминания которых невозможно осветить даже ключевые моменты развития ядерно-геофизических методов в нашей стране. В добавление к уже упоминавшимся учреждениям или лабораториям, сыгравшим основополагающую роль в формировании ядерного направления в разведочной геофизике, отметим, что некоторые лаборатории или научные группы в разное время вошли в состав крупных научно-исследовательских центров – ВНИИ ядерной геофизики и геохимии, ВНИИ разведочной геофизики, ВНИИ минерального сырья, ВНИИ радиационной техники, ВНИИ геофизических исследований скважин и др.

Были созданы ядерно-геофизические лаборатории при Институте геофизики Уральского научного центра АН (Ю. П. Булашевич), при Институте геологии и геофизики Сибирского отделения АН (Е. М. Филип-пов) и др.

Еще на рубеже 40-50-х годов по инициативе академика И. В. Курчатова для обеспечения специалистами научных и производственных организаций в ряде вузов страны была организована подготовка инженеров выпускающими

кафедрами ядерно-геофизического профиля: в Московском геологоразведочном институте – МГРИ (В. И. Баранов, А. С. Сердюкова, Д. Ф. Зимин), Ленинградском университете – ЛГУ (В. А. Мейер, А. А. Са-турин, П. А. Ваганов), Ленинградском горном институте – ЛГИ (Г. Ф. Новиков, Ю. Н. Капков, А. Я. Синицын), Московском институте нефтехимической и газовой промышленности – МИНХиГП (В. Н. Дахнов, В. В. Ларионов, Д. А. Кожевников), Свердловском горном институте – СГИ (Н. А. Иванов, Ю. П. Булашевич, Г. С. Возженников).

Из названия учебного пособия следует, что его основу составляет одноименный курс лекций, который преподается студентам геофизического факультета СГИ (ныне Уральский государственный горный университет) с 1952 г. Формирование и развитие курса, особенно разделов книги 1 и 2, происходило в значительной степени под влиянием профессоров Н. А. Иванова и Ю. П. Булашевича, которые в свое время (1952-1959) начинали преподавание этой дисциплины на геофизическом факультете СГИ. Наряду с отмеченным в книгу включены сведения, заимствованные из литературных источников (учебные пособия, монографии, справочники), а также оригинальные материалы из работ авторов.

Третий раздел книги составлен на основе спецкурса «Ядерная геофизика», который был подготовлен и впервые прочитан Г. С. Возженниковым в 1970 г. на геофизическом факультете СГИ для студентов старших курсов специализации ядерно-геофизического профиля.

Авторы будут признательны всем, кто сочтет возможным прислать замечания и пожелания по изложенному в курсе материалу по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет, факультет геологии и геофизики, кафедра геофизики.

1. ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ

1.1. Общие сведения

Радиоактивность – физическое явление, заключающееся в способности ядер некоторых элементов самопроизвольно распадаться с испусканием ядерных излучений. При этом исходное (*материнское*) ядро превращается в *дочернее* ядро – продукт распада. Явление радиоактивности связывают также со взаимным превращением одних элементарных частиц в другие (например, нейтронов в протоны).

Различают *естественную* и *искусственную* радиоактивность. Естественная радиоактивность наблюдается у неустойчивых изотопов, существующих в природе. Искусственная радиоактивность – радиоактивность нуклидов, полученных с помощью ядерных реакций. При этом ядерные свойства данного радионуклида не зависят от способа его получения.

История открытия естественной радиоактивности связывается с именем немецкого физика Рентгена, который в 1895 г. открыл лучи, впоследствии названные его именем. В первых опытах испускание так называемых *X*-лучей сопровождалось флуоресценцией стеклянных стенок рентгеновской трубки. Вскоре были выполнены исследования флуоресценции, чтобы выяснить, всегда ли она сопровождается испусканием рентгеновского излучения. Опыты проводились с завернутыми в черную бумагу фотопластинками, на которые накладывались разные вещества, флуоресцирующие под действием яркого света. Если флуоресценция сопровождается испусканием рентгеновских лучей, то фотопластинки должны почернеть.

При испытании большого количества флуоресцирующих веществ французский ученый Беккерель в 1896 г. обнаружил, что ожидаемый эффект дают урансодержащие вещества. Однако дополнительные опыты показали, что почернение фотопластинки не было связано с флуоресценцией, так как почернение наблюдалось даже в том случае, когда соли U не освещались. В дальнейшем было установлено, что наблюдаемое излучение характерно для всех соединений U, а наиболее эффективным был металлический U. Оказалось, что интенсивность излучения не зависит от внешних условий и не меняется со временем. Таким образом было установлено, что наблюдаемый эффект является внутренним свойством атомов U.

Свойство атомов (в то время еще не существовало представления об атомном ядре) урана испускать излучение Пьер и Мария Кюри назвали радиоактивностью. Вскоре супруги Кюри открыли радиоактивность другого тяжелого элемента – тория. Как и в случае с ураном, оказалось, что это явление

не связано с физико-химическим состоянием вещества, а является свойством элемента. Позднее анализ урансодержащих руд привел к открытию полония и радия, удельная радиоактивность которых оказалась значительно выше, чем у U и Th.

Впервые радиоактивное излучение было проанализировано Резерфордом при помощи опытов по наблюдению за его поведением в электрическом и магнитных полях и поглощению в веществе. В результате этих опытов установлено, что радиоактивные вещества испускают 3 вида лучей:

1. α-*лучи* – тяжелые положительно заряженные частицы, двигающиеся со скоростью ~10^9 см/с и поглощающиеся алюминиевой фольгой. Впоследствии было установлено, что этими частицами являются ядра $_2He^4$.

2. β-*лучи* – легкие заряженные частицы, двигающиеся со скоростью, близкой к скорости света и поглощаемые слоем алюминия толщиной в несколько мм. Этими частицами оказались электроны (в дальнейшем были обнаружены и положительно заряженные β-частицы – позитроны).

3. γ-*лучи* – сильно проникающее излучение, не отклоняющееся ни в электрическом, ни в магнитном полях. Природа γ-лучей – жесткое электромагнитное излучение с длиной волны менее 10 нм (<10^{-9} м). Гамма-излучение связано с энергетической перестройкой ядер, испытывающих то или иное ядерное превращение.

1.2. Элементы строения атомных ядер

Атомное ядро представляет собою систему, состоящую из некоторого числа сильно связанных между собой частиц – протонов и нейтронов, которые обычно называют *нуклонами* (от лат. *nucleos* – ядро). Идея о протонно-нейтронном составе ядра была впервые высказана академиками Д. Иваненко и А. Амбарцумяном в 1930 г.

Протон (*p*) – элементарная частица, имеющая единичный положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона, представляет собою ядро основного изотопа водорода $_1H^1$. Таким образом, масса протона равна массе атома водорода за вычетом массы электрона. Так как масса атома H составляет 1,00814 атомных единицы массы (а.е.м.), а масса электрона составляет 0,00055 а.е.м., то масса протона равна 1,00759 а.е.м. (1,672·10^{-24} г.).

Нейтрон (*n*) - электрически нейтральная частица с массой, близкой и немного большей, чем у протона (1,00893 а.е.м., 1,674·10^{-24} г.).

Количество протонов в ядре равно порядковому (атомному) номеру элемента в периодической системе Менделеева и обозначается *Z*. Общее количество протонов и нейтронов в ядре определяет его массовое число (атомный вес) и обозначается *A*. Число нейтронов в ядре равно *A*-*Z*.

Разновидности одного и того же химического элемента с одинаковыми значениями *Z* и разными массовыми числами называются *изотопами* (равноместными). Элементы с нечетными атомными номерами являются либо моноизотопными, либо состоят не более чем из двух изотопов. Четные элементы, как правило, являются полиизотопными.

Атомы с одинаковыми *A*, но разными *Z* (принадлежащим разным химическим элементам) называются *изобарами* (барос - вес).

Атомы с одинаковым числом нейтронов *A*-*Z* называют *изотонами*.

В легких ядрах (с малым *Z*) обычно содержится равное или примерно равное количество протонов и нейтронов, в тяжелых ядрах нейтронов примерно в 1,5 раза больше, чем протонов. Связь *Z* с *A* для стабильных ядер описывается эмпирической формулой [41]

$$Z = \frac{A}{1{,}98 + 0{,}015A^{2/3}},$$

следовательно, для легких ядер отношение $Z/A \approx 0{,}5$.

Нуклоны, входящие в состав атомных ядер, испытывают конкуренцию кулоновских сил отталкивания и ядерных сил сцепления. Преобладание первых приводит к распаду ядра, вторых – к его устойчивому состоянию.

Сравнение массы атомного ядра с суммой масс входящих в его состав нуклонов показывает, что масса ядра всегда меньше суммы масс всех составляющих его протонов и нейтронов. Разность между суммой масс нуклонов и массой ядра называется *дефектом массы* Δm, определяет *энергию связи* ядра относительно составляющих его нуклидов. Если обозначить через m_p, m_n и $M_я$ соответственно массы *p*, *n* и ядра, то

$$\Delta m = \left[m_p Z + m_n (A - Z)\right] - M_я . \qquad (1.1)^*$$

Согласно формуле Эйнштейна, каждому значению массы соответствует определенная энергия $E = mc^2$, так что энергию связи ядра *W* можно выразить следующим образом:

$$W = \Delta m c^2. \qquad (1.2)$$

Энергия связи представляет собою ту энергию, которую надо затратить, чтобы разделить нуклоны, «упакованные» в ядре с плотностью порядка 10^8

* Здесь и далее для широко известных формул и определений ссылки не приводятся.

т/см^3. Таким образом, энергия связи является мерой прочности ядра. Особенно велика энергия связи у четно-четных ядер, т. е. у ядер с четным числом протонов и нейтронов, например у $_2He^4$, $_6C^{12}$, $_8O^{16}$ и др.

Энергия связи, отнесенная к массовому числу, называется *удельной энергией связи*, или средней энергией связи нуклона в ядре, $\varepsilon = W/A$. Средняя энергия связи нуклона в ядре изменяется от ядру к ядру. На рис. 1.1 приводится зависимость ε от массового числа A.

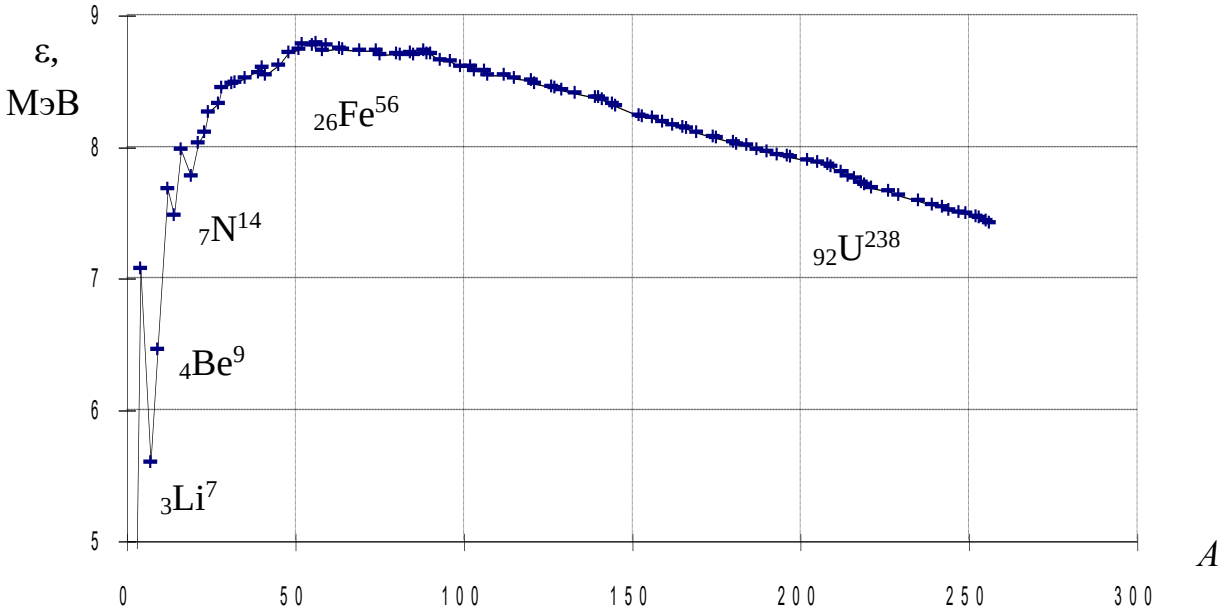


Рис. 1.1

Наименьшее значение энергии связи нейтрона имеет место для изотопа $_4Be^9$. В случае распада $_4Be^9$ на две α-частицы и нейтрон она составляет 1,67 МэВ, хотя энергия связи ядра $_4Be^9$, отнесенная ко всем девяти составляющим его нуклонам, равна 6,46 МэВ.

Ядра тяжелых элементов имеют очень большую энергию связи относительно всех составляющих его нуклонов, однако, например, для $_{92}U^{238}$ энергия связи в случае распада этого ядра на $_2He^4$ и $_{90}Th^{234}$ оказывается отрицательной (-4,25 МэВ). Это означает, что ядро урана является неустойчивым и распадается на α-частицу и ядро $_{90}Th^{234}$ с выделением избытка энергии. Точно так же U обладает отрицательной энергией связи для двух примерно равных по массе осколков деления, что определяет спонтанное (самопроизвольное) деление ядер U на два примерно равных по массе осколка деления.

Нуклоны, находящиеся на периферии атомных ядер, окружены не со всех сторон другими нуклонами, поэтому они связаны ядерными силами слабее

внутренних. Кроме того, ядерные силы начинают проявлять себя лишь на расстоянии, сравнимом с размером нуклона, в результате чего нуклоны в ядре сцеплены фактически лишь со своим ближайшим окружением. Следовательно, ядерные силы в отличие от кулоновских обладают свойством насыщения. По мере роста массового числа *A* уменьшается доля поверхностных нуклонов, и средняя энергия связи, приходящаяся на нуклон, сначала растет (рис. 1.1). По мере увеличения *Z* кулоновское отталкивание нуклонов непрерывно растет, поскольку эти силы имеют радиус действия порядка атомных размеров, и, следовательно, каждый протон взаимодействует со всеми другими протонами ядра.

Для сохранения устойчивости тяжелые ядра содержат большее количество нейтронов, чем протонов: с ростом числа нейтронов увеличивается среднее расстояние между протонами и уменьшаются кулоновские силы отталкивания. Однако эти «меры» лишь частично компенсируют рост сил отталкивания в ядре по мере увеличения *A*, в связи с чем удельная энергии связи ε начинает уменьшаться уже при $A > 60$. Ядра с $A > 230$ становятся неустойчивыми.

1.3. Виды ядерных превращений

Ядерные (или *радиоактивные превращения*) происходят с изменением строения и энергетического состояния ядра атома и сопровождаются испусканием или захватом заряженных частиц, делением ядра или испусканием коротковолнового γ-излучения электромагнитной природы.

Различают следующие основные виды *ядерных превращений*: α-распад, β-распад (электронный β^--распад, позитронный β^+-распад и электронный захват), изомерный переход (ИП) и деление ядер (*f*-распад).

1.3.1. Альфа-распад

Заключается в превращении материнского ядра ***A*** в дочерний продукт ***B*** путем испускания α-частицы, представляющей собою ядро $_2He^4$. Альфа-частицы имеют массу, равную 4,002264 а.е.м. ($6{,}598 \cdot 10^{-24}$ г.), и несут двойной электрический заряд, равный $3{,}2044 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Радиоактивные элементы испускают α-частицы разной энергии (2-10 МэВ), однако для каждого элемента начальная энергия α-частиц постоянна и является характеристической величиной, если не учитывать особенности, связанные с так называемой «тонкой структурой» α-спектров.

Вылет α-частицы с кинетической энергией E_α из ядра радиусом R_o с потенциальным барьером $U_0 > E_\alpha$ представляет случай *туннельного перехода* частицы через кулоновский барьер (в силу соотношения неопределенности $\Delta E \Delta t \sim h$). Схема α-распада записывается следующим образом:

$${}_Z\boldsymbol{A}^M - {}_2\alpha^4 \rightarrow {}_{Z-2}\boldsymbol{B}^{M-4}.$$

Другими словами, заряд дочернего ядра в случае α-распада уменьшается на 2, а массовое число на 4 соответствующие единицы. Дочерний продукт α-распада перемещается в таблице Менделеева на 2 клетки влево. Примером α-распада может служить превращение Ra в Rn (эманация Ra):

$${}_{88}\mathrm{Ra}^{226} - {}_2\alpha^4 \rightarrow {}_{86}\mathrm{Ra}^{222}.$$

Альфа-распад часто сопровождается γ-излучением с энергией E_γ от десятков до первых сотен кэВ. Возникновение γ-лучей связано с *тонкой структурой* α-спектра, сущность которого заключается в том, что часть материнских ядер испускает α-частицы с энергией $E_\alpha < E_\alpha^{\max}$. Дочерние ядра при этом оказываются в состоянии возбуждения и переходят в *основное энергетическое состояние* (уровень, при котором ядро обладает наименьшей эквивалентной массой) путем высвечивания избыточной энергии в виде γ-излучения сравнительно небольшой энергии и интенсивности.

При прохождении через вещество энергия α-частицы расходуется в основном на ионизацию и возбуждение атомов. Вследствие большой начальной энергии при столкновении с молекулами поглощающей среды α-частица образует на длине своего пробега (трека) сотни тысяч пар ионов. В этом смысле говорят о большой ионизирующей способности α-частиц. Оценим количество пар ионов, которые образуются на длине трека α-час-тицы при распаде ядер ${}_{84}\mathrm{Po}^{210}$. Имея в виду, что $E_\alpha^{\mathrm{Po}} = 5{,}3$ МэВ, а энергия, затрачиваемая на образование одной пары ионов, составляет ~30 эВ, имеем около 175 тысяч эффектов ионизации. Из-за относительно малой величины энергии, затрачиваемой α-частицей на один акт ионизации, α-частица после взаимодействия с атомом не меняет направления своего переноса, ее траектория движения в веществе является прямолинейной.

Отличительной способностью α-частиц является их малая проникающая способность. В зависимости от начальной энергии пробег α-частиц в воздухе составляет несколько сантиметров и может быть найден из следующей эмпирической формулы:

$$R_\alpha(E) = 0{,}316 E_\alpha^{3/2}, \qquad (1.3)$$

где E_α - энергия α-частицы, МэВ;

$R_\alpha(E)$ - пробег α-частицы в воздухе, см.

В твердом веществе пробег еще меньше, измеряется микронами и может быть найден с помощью эмпирической *формулы Брегга-Климэна*:

$$L_\alpha(E) = 3{,}2 \cdot 10^{-4} R_\alpha(E) \frac{\sqrt{A}}{\rho}, \qquad (1.4)$$

где A и ρ - соответственно атомный вес и плотность среды переноса α-частицы с энергией E.

Поскольку начальная энергия вылета α-частиц для данного типа α-излучателя постоянна, то длина их пробега в каждом конкретном веществе является также постоянной величиной. Между длиной пробега α-частиц (их энергией) и постоянной распада α-излучателей λ существует тесная связь. Согласно *правилу* (*закону*) *Гейгера-Неттола* эта связь выражается следующим образом:

$$\lg\lambda = A\lg R_\alpha + B, \qquad (1.5)$$

где A и B - коэффициенты, несколько отличающиеся для α-излучателей семейств урана и тория.

Ионизация и возбуждение α-частицами атомов различных веществ сопровождаются их химическими изменениями, нарушением кристаллической структуры твердых тел, выделением тепла, почернением фотопластинок, люминесценцией ряда веществ и другими физико-химическими явлениями. Явление люминесценции используется для регистрации ядерных частиц. Хорошим люминофором для регистрации α-частиц является сернистый цинк, активированный серебром ZnS(Ag).

1.3.2. Бета-распад

Различают три разновидности β-распада: электронный, позитронный и электронный захват (*K*-захват).

Электронный β-распад (β⁻-распад). Заключается в ядерном превращении нейтрона в протон по следующей схеме:

$${}_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + \beta^- + \tilde{\upsilon}.$$

Энергия β⁻-распада ($E_\beta{}^{max}$) распределяется сложным (случайным) образом между электроном и антинейтрино, поэтому энергетический спектр β-излучения в отличие от α-спектра, является непрерывным (рис. 1.2), причем

максимум кривой распределения β-частиц по энергиям приходится на энергию, составляющую примерно треть от E_β^{max}.

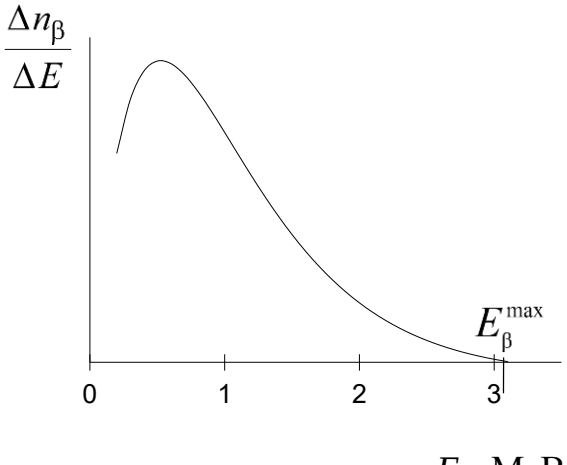


Рис. 1.2

Часть дочерних ядер при своем образовании оказывается на промежуточных энергетических уровнях и при переходе на основной уровень испускают γ-лучи квантованных линий.

В результате электронного β^--распада образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но его порядковый номер будет на единицу больше.

Схему β^--распада можно представить следующим образом:

$${}_Z\boldsymbol{A}^M - \beta^- \rightarrow {}_{Z+1}\boldsymbol{B}^M + \breve{\upsilon}.$$

По этой схеме распадаются не только естественные радионуклиды, но и искусственно-радиоактивные изотопы, например:

$${}_{29}Cu^{64} - \beta^- \rightarrow {}_{30}Zn^{64} + \breve{\upsilon}.$$

Представление о частицах, не обладающих ни зарядом, ни массой покоя, было введено в 1930 г. Паули для объяснения непрерывности β-спектра; для таких частиц Ферми предложил термин «нейтрино» («маленький нейтрон», «нейтрончик»). Впоследствии была предложена концепция антинейтрино $\breve{\upsilon}$, согласно которой нейтрино υ испускается при β-распаде одновременно с позитроном, а $\breve{\upsilon}$ – вместе с электроном. Нейтрино и $\breve{\upsilon}$ отличаются противоположными направлениями спинов.

Специфические свойства нейтрино (отсутствие заряда и практическое отсутствие массы) делают чрезвычайно трудными опыт по их обнаружению. Оценка сечения взаимодействия нейтрино с ядром приводит к величине $\sigma \approx 10^{-44}$ см^2, что соответствует среднему пробегу в концентрированной среде ($n_a \sim 10^{22}$ атомов/см^3), равному $n_a\sigma \approx 10^{17}$ км.

Очевидно, что столь малый эффект взаимодействия нейтрино с веществом можно обнаружить лишь при наличии мощных потоков этих частиц. В последние годы уже возникал вопрос об использовании мощных потоков нейтрино подземных ядерных взрывов для нейтринного «просвечивания» Земли как планеты. Главной трудностью для реализации такого проекта является его большая стоимость.

При прохождении электронов через вещество их энергия в основном расходуется на ионизацию и на возбуждение атомов. При больших энергиях электронов значительная ее часть затрачивается на образование электромагнитного излучения, называемого *тормозным*. Последнее связано с тем, что, в отличие от α-частиц, электроны взаимодействуют как с электронными оболочками атомов, так и с их ядрами. Так как массы взаимодействующих β-частиц и атомных электронов равны, то, помимо потерь энергии, электроны отклоняются от своего первоначального направления, т. е. рассеиваются. Траектории электронов не прямолинейны, а суммарная длина их пробега существенно превышает толщину слоя вещества, через который они могут пройти.

Между пробегом электронов и максимальной энергией β-спектра E_{max} существуют следующие эмпирические зависимости:

$$\begin{cases} R_m = 0{,}407\, E_{max}^{1{,}38}, \; E_{max} \le 0{,}8 \text{ МэВ} \\ R_m = 0{,}54\, E_{max}, \quad E_{max} > 0{,}8 \text{ МэВ}, \end{cases} \qquad (1.6)$$

где R_m - массовый пробег, г/см^2;

E_{max} - энергия электронов, МэВ.

Позитронный β-распад (β$^+$-распад). Заключается в ядерном превращении протона в нейтрон по следующей схеме:

$${}_1p^1 \rightarrow {}_0n^1 + \beta^+ + \upsilon .$$

В результате позитронного β-распада образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но с порядковым номером на единицу меньше:

$${}_Z\boldsymbol{A}^M - \beta^+ \rightarrow {}_{Z-1}\boldsymbol{B}^M + \upsilon .$$

Пример β$^+$-распада для искусственно-радиоактивного изотопа ${}_{29}Cu^{64}$:

$${}_{29}Cu^{64} - \beta^+ \rightarrow {}_{28}Ni^{64} + \upsilon .$$

Так же, как и в случае β$^-$-распада, энергия позитронного распада E_{max} распределяется случайным образом между позитроном и нейтрино, поэтому энергетический спектр позитронного распада непрерывен.

Следует заметить, что превращение ${}_1p^1$ в ${}_0n^1$ надо понимать в условном смысле. Поскольку масса протона несколько меньше, чем масса нейтрона, то позитронный распад свободного протона невозможен. Однако для протона, связанного в ядре, подобное превращение возможно, так как недостающая энергия восполняется (дотируется) ядром.

Позитрон, как и все античастицы, недолговечен. При взаимодействии позитрона с электроном возможно взаимное «уничтожение» этих частиц. В этом смысле говорят об *аннигиляции* позитрона. При аннигиляции позитрона и электрона возникают кванты электромагнитного поля. Число γ-квантов при аннигиляции определяется законами сохранения энергии и импульса. Наиболее распространена аннигиляция, в результате которой за счет античастицы образуется фотонная пара с энергией каждого из аннигиляционных квантов, равной энергии покоящегося электрона. Поскольку энергия электрона, находящегося в покое, равна $m_e c^2$, то β^+-распад обычно сопровождается так называемого аннигиляционным γ-излучением с энергией 511 кэВ. Таким образом, позитронные излучатели возможно принципиально обнаружить по наличию аннигиляционного излучения.

В качестве примера можно сослаться на возможность дистанционного определения Cu по искусственно-радиоактивному изотопу $_{29}Cu^{64}$. В схеме его распада имеется позитронное излучение, поэтому присутствие меди обнаруживается по γ-лучам с энергией 511 кэВ.

Электронный захват (*К*-захват). Третья разновидность β-рас-пада – электронный захват (ЭЗ) был открыт американским физиком Альварецом в 1938 г. Сущность электронного захвата заключается в захвате ядром электрона из внутренней оболочки собственного атома. При этом один из протонов внутри ядра трансформируется в нейтрон, а за пределы ядра выбрасывается нейтрино:

$$_1p^1 + \beta^- \rightarrow {}_0n^1 + \upsilon\,.$$

В результате электронного захвата образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но с порядковым номером на единицу меньше:

$$_Z\boldsymbol{A}^M + \beta^- \rightarrow {}_{Z-1}\boldsymbol{B}^M + \upsilon\,.$$

Природа электронного захвата была раскрыта при изучении сопровождающего его рентгеновского излучения. Оказалось, что оно соответствует переходу электронов на освободившееся место в электронной оболочке, образовавшееся после электронного захвата. Электронный захват имеет существенное значение для тяжелых ядер, у которых *К*-оболочка расположена близко к ядру. Наряду с захватом электрона из *К*-оболочки (*К*-захват) значительно реже наблюдается захват электрона из *L*-оболочки (*L*-захват), *М*-оболочки (*М*-захват) и т. д.

Своеобразный характер процесса ЭЗ (не испускание, а захват электрона атомом) приводит к тому, что в случае ЭЗ постоянная распада λ оказывается в некоторой зависимости от внешних условий.

Примером *К*-радиоактивного ядра является изотоп $_{19}K^{40}$, захватывающий *К*-электрон и превращающийся в ядро $_{18}Ar^{40}$ по схеме:

$$_{19}K^{40} + \beta^- \rightarrow {}_{18}Ar^{40} + \upsilon\,.$$

Нейтрино, образующееся по этой схеме, отличается от нейтрино, связанного с позитронным излучением (β^+-распадом) своей монохроматичностью (моноэнергетичностью).

Ядерное превращение калия в аргон лежит в основе так называемого K-Ar-метода, который используется для определения абсолютного возраста калийсодержащих горных пород по количеству накопившегося аргона.

1.3.3. Изомерный переход

Один из видов ядерных превращений, представляющий собою переход ядра из *метастабильного* состояния в *основное*. Под метастабильным состоянием понимается такое возбужденное состояние ядра, период «высвечивания» которого по крайней мере на несколько порядков больше периода высвечивания при простом возбуждении ядра. Таким образом, состояние ядра будет метастабильным, если вероятность перехода его на основной уровень очень мала. Периоды полураспада *изомеров* (ядер в метастабильном состоянии) колеблются от 10^{-4} с до нескольких месяцев.

Переход ядер в метастабильное состояние осуществляется после ядерных превращений, происходящих в результате захвата тепловых нейтронов, фотонейтронного процесса, бомбардировки ядер тяжелыми частицами и т. д. Изомерный переход всегда сопровождается γ-излучением. В отдельных случаях, кроме γ-излучения при «успокоении» метастабильного ядра, имеет место испускание электронов или позитронов, а также электронов *конверсии*, возникающих в процессе прямой передачи энергии от возбужденного ядра к электронной оболочке.

Изомерный переход связан с явлением ядерной изомерии, проявляющейся в существовании радиоактивных ядер, одинаковых по числу Менделеева *Z* и по атомному весу *A*, но находящихся в разном энергетическом состоянии и отличающихся между собою по периоду полураспада.

Первая пара изомерных ядер была открыта в 1921 г. Ганом. Он обнаружил радиоактивное вещество UZ ($_{91}Pa^{234}$), в точности совпадающее по номеру и массе с изотопом UX_2, но отличающееся от него радиоактивными

свойствами. Оба изомера получаются с разной вероятностью P в результате β^--распада одного и того элемента UX_1 ($_{90}Th^{234}$):

UX_1 → UZ (P = 0,15 %, T = 6,75 ч)

UX_1 → UX_2 (P = 99,85 %, T = 1,17 мин)

и состоят из одинаковых ядер, но имеют разные периоды полураспада.

Разобраться в природе этого явления помогли опыты Курчатова и его сотрудников, открывших в 1935 г. существование изомерии у искусственно-радиоактивных ядер. В частности, искусственно-радиоактивный изотоп брома $_{35}Br^{80}$ характеризуется двумя периодами полураспада: 18 мин и 4,4 ч. Существование у одного ядра двух периодов полураспада можно понять, если предположить, что ядро $_{35}Br^{80}$ может возникать в двух изомерных состояниях: основном и возбужденном долгоживущем (метастабильном).

Стабильный (материнский) изотоп золота $_{79}Au^{197}$ в результате бомбардировки γ-квантами образует по ядерной реакции (γ, γ′) дочерний продукт $_{79}Au^{197m}$ (метастабильный), который в отличие от материнского является радиоактивным с периодом полураспада 7,2 с. Изомерный переход ядер $_{79}Au^{197m}$ в основное состояние происходит путем испускания γ-квантов с энергий 279 кэВ. Регистрируя интенсивность γ-излучения, связанного с изомером $_{79}Au^{197m}$, оказывается возможной быстрая и надежная идентификация золота в исследуемых пробах.

1.3.4. Деление ядер

Термин «деление» (*f-распад*) применяется к процессам, когда атомное ядро, захватив нейтрон, расщепляется (делится) на две части (осколки деления), между которыми распределяются нуклоны исходного ядра (например, $_{92}U^{235}$): $Z_U = Z_1 + Z_2$; $A_U \cong A_1 + A_2$. Соотношение масс осколков деления может варьировать в широких пределах, но наиболее вероятное значение A_1/A_2 (или A_2/A_1) близко к 2 (0,5).

При делении тяжелого ядра высвобождается большая энергия. Этот вывод следует из сравнения масс делящегося ядра A_U и масс образующихся осколков A_1 и A_2. Величину выделяющейся энергии Q_U можно оценить, имея в виду удельную энергию связи осколков $\bar{\varepsilon}$ и параметр ε для урана:

$$Q_U = \Delta\varepsilon A,$$

где $\Delta\varepsilon = \bar{\varepsilon} - \varepsilon$; A – массовое число делящегося ядра.

Так как ε для ядер середины периодической системы примерно на 0,8 МэВ больше, чем ε для $_{92}U^{235}$, получим: $Q_U = 235 \cdot 0{,}8 \approx 200$ МэВ.

Подавляющая часть энергии деления проявляется в виде кинетической энергии осколков деления Q_f. Образующиеся при делении осколки являются радиоактивными (β-излучателями) и могут испускать *нейтроны деления*. Последнее обстоятельство определяет то, что процесс деления при определенных условиях может стать самоподдерживающимся с непрерывным выделением энергии. В этом и состоит основной принцип получения атомной энергии. Важнейшими материалами, испытывающими деление, являются: $_{92}U^{235}$, $_{92}U^{233}$ и $_{94}Pu^{239}$. Частицы с очень высокими энергиями могут вызывать деление и в других материалах (например, ядра $_{92}U^{238}$ делятся при их облучении быстрыми нейтронами).

В результате деления ядра испускаются *мгновенные* и *запаздывающие* нейтроны. Первые из них составляют ~99 % всех нейтронов деления и испускаются в течение 10^{-14} с за пределы ядра после акта деления. Большая часть мгновенных нейтронов имеет энергию от 1 до 2 МэВ, а распределение их по энергиям называется *спектром нейтронов деления*. Запаздывающие нейтроны испускаются с задержкой до нескольких секунд со спадающей интенсивностью. Запаздывающие нейтроны представляют особый интерес с точки зрения управления цепной реакцией. Регистрация запаздывающих нейтронов лежит в основе одного из методов количественного определения $_{92}U^{235}$ в природных средах.

Механизм деления обычно объясняется с помощью *капельной модели* ядра [41]. Схема деления ядра $_{92}U^{235}$ может быть представлена следующим образом:

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{236} \rightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{94} + 2\,{}_{0}n^{1} + \gamma.$$

Осколки деления являются β-излучателями. В частности, $_{54}Xe^{140}$ испытывает следующую цепочку β-превращений:

$$_{54}Xe^{140} \rightarrow {}_{55}Cs^{140} \rightarrow {}_{56}Ba^{140} \rightarrow {}_{57}La^{140} \rightarrow {}_{58}Ce^{140}\ \text{(стабильный)}.$$

Как впервые показали Петржак и Флеров, ядра урана способны делиться не только под действием нейтронов, но и сами по себе, самопроизвольно, без внешнего воздействия (так называемого *спонтанное* деление).

Основные закономерности распространения изотопов

Большинство известных изотопов неустойчиво, но из 340 ядер, находящихся в природе, 273 относятся к стабильным, из которых очень небольшая часть обладает крайне слабой радиоактивностью.

Все известные нуклиды могут быть разделены на четыре типа в зависимости от четного или нечетного числа протонов и нейтронов в их

составе: четно-четный $_8O^{16}$ (известно 166 нуклидов), четно-нечетный $_4Be^9$ (55), нечетно-четный $_3Li^7$ (47), нечетно-нечетный $_5B^{10}$ (5). Из этих данных видно, что изотопы с четным Z и $N = A - Z$ преобладают над изотопами с нечетными Z и N. В то же время четно-четные ядра в природе наиболее распространены и наиболее стабильны. К ним относятся шесть изотопов: $_2He^4$, $_8O^{16}$, $_{12}Mg^{16}$, $_{14}Si^{28}$, $_{20}Ca^{40}$, $_{26}Fe^{56}$, пять из которых входят в число восьми главных химических элементов, слагающих верхнюю часть литосферы. Ядра с четным A более многочисленны, чем с нечетным A. Всего известно пять стабильных изотопов нечетно-нечетного типа: $_1H^2$, $_3Li^6$, $_5B^{10}$, $_7N^{14}$, $_{25}V^{50}$. Все остальные известные нечетно-нечетные ядра с $A > 14$ (включая $_{19}K^{40}$) β-радиоактивны.

Все тяжелые изотопы с $Z > 83$ радиоактивны, многие из них испытывают α-распад. Они группируются в четыре радиоактивных ряда: ториевый, нептуниевый, урановый и актиноурановый (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Четыре типа радиоактивных рядов

Ряд	Родоначальник ряда	Конечный продукт	Признак делимости на 4	Тип ядра
Ториевый	$_{90}Th^{232}$	$_{82}Pb^{208}$	$4n$	Четно-четный
Нептуниевый	$_{93}Np^{237}$	$_{83}Bi^{209}$	$4n + 1$	Нечетно-четный
Урановый	$_{92}U^{238}$	$_{82}Pb^{206}$	$4n + 2$	Четно-четный
Актиноурановый	$_{92}U^{235}$	$_{82}Pb^{207}$	$4n + 3$	Четно-нечетный

В современную эпоху на Земле отсутствует нептуниевый ряд. Родоначальник этого ряда $_{93}Np^{237}$ получен искусственным путем.

На основании астрофизических данных по составу звездных атмосфер были получены данные о космическом (галактическом) распространении элементов и их изотопов [60] (рис. 1.3). Зависимость между распространением элемента и Z выражается следующими закономерностями:

1. Распространенность химических элементов с четным Z в общем более высокая, чем у элементов с нечетным Z. Эта закономерность получила название *правила Оддо-Гаркинса*.

2. Распространенность легких элементов с атомным номером $Z < 28$ резко преобладает над распространенностью остальных, более тяжелых элементов, за исключением Li, Be, B.

3. Существуют так называемого *магические числа*: 2, 8, 20, 50, 82, 126, относящиеся как к числу нейтронов, так и протонов в ядре.

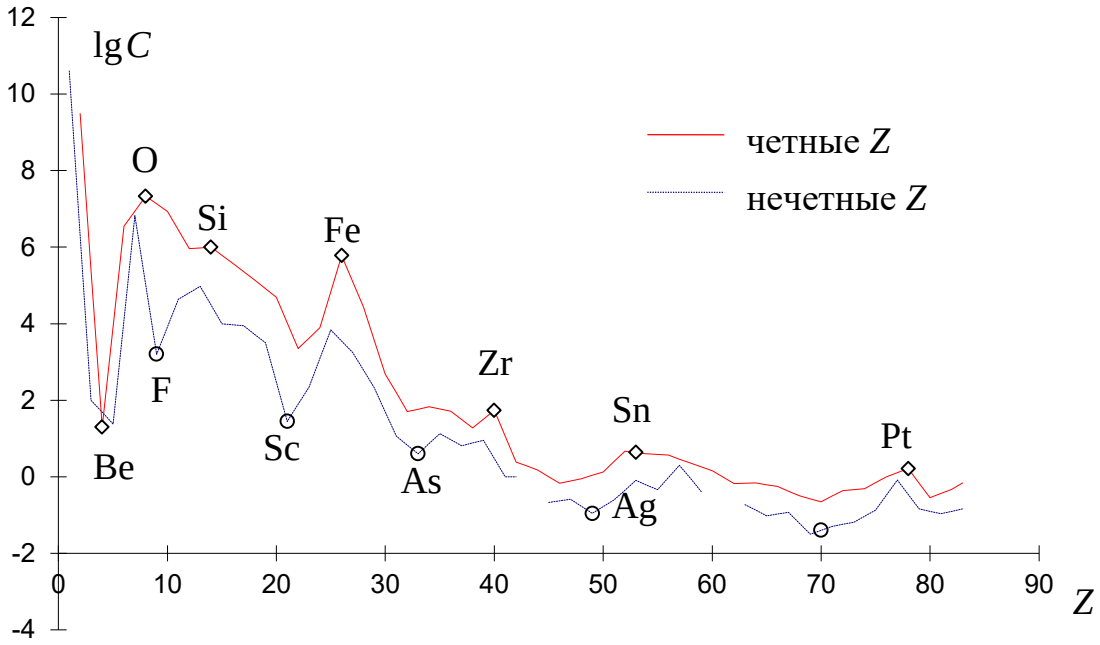


Рис. 1.3

Нуклиды с этими характеристиками обладают наибольшей прочностью (удельной энергией связи нуклонов в ядре) и повышенным распространением.

1.4. Законы радиоактивных превращений

1.4.1. Закон распада

На основании экспериментальных исследований Резерфорд и Содди в 1903 г. показали, что при радиоактивном распаде проявляется общая для всех радионуклидов закономерность, заключающаяся в том, что *количество атомов данного радиоактивного изотопа, распадающихся в среднем в единицу времени, всегда составляет определенную, характерную для данного радионуклида долю от полного числа еще не распавшихся ядер.* Математически это записывается следующим образом:

$$-\Delta N = \lambda N \Delta t, \qquad (1.7)$$

где ΔN – число атомов, распадающихся за время между t и Δt;

N – число атомов еще не распавшихся к моменту времени t;

λ – *постоянная распада*, характеризующая вероятность ядерного превращения, отнесенная к одному ядру в единицу времени.

В форме дифференциального уравнения выражение (1.7) записывается так:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N . \qquad (1.8)$$

Из соотношения (1.8) видно, что количество ядерных превращений, происходящих в активном препарате, пропорционально начальному количеству радиоактивных ядер. Перепишем (1.8) в следующим виде:

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0, \text{ или } \frac{dN}{N} + \lambda dt = 0. \qquad (1.9)$$

Интегрируя (1.9), имеем:

$\ln N + \lambda t = A.$

Постоянную интегрирования A найдем из начального условия: $t = 0$, $N(0) = N_0$. С учетом отмеченного, получим:

$\ln N + \lambda t = \ln N_0$, откуда

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t). \qquad (1.10)$$

Соотношение (1.10) носит название *закона радиоактивного распада*.

Найдем время T, по истечении которого распадается половина от исходного количества ядер N_0. Полагая $N(t)/N_0 = 0{,}5$, имеем:

$0{,}5 = e^{-\lambda T}$, откуда $T = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.

Параметр T имеет размерность времени и носит название *периода полураспада*. Отношение $N(t)/N_0$ часто называют *функцией выживания*. Учитывая связь между λ и T, запишем для функции выживания:

$$\frac{N(t)}{N_0} = \exp\left(-\ln 2 \frac{t}{T}\right).$$

Обозначим $k = t/T$, тогда

$$g(k) = \frac{N(k)}{N_0} = 2^{-k}. \qquad (1.11)$$

Выражение (1.11) представляет одну из форм записи закона распада. На рис. 1.4 представлено поведение функции выживания в зависимости от параметра k, представляющего собою время распада в нормировке к периоду полураспада данного радионуклида.

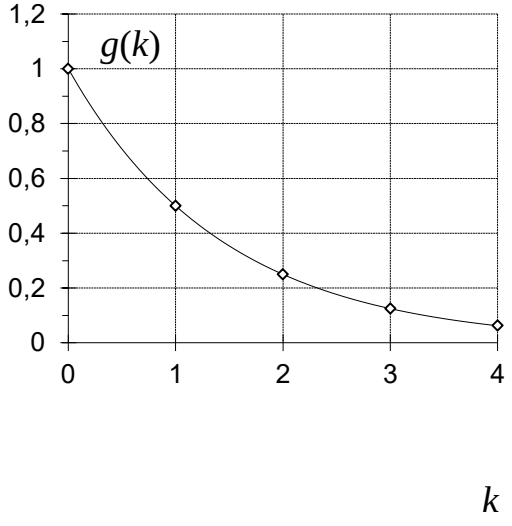


Рис. 1.4

Если зависимость (1.11) построить в полулогарифмическом мас-

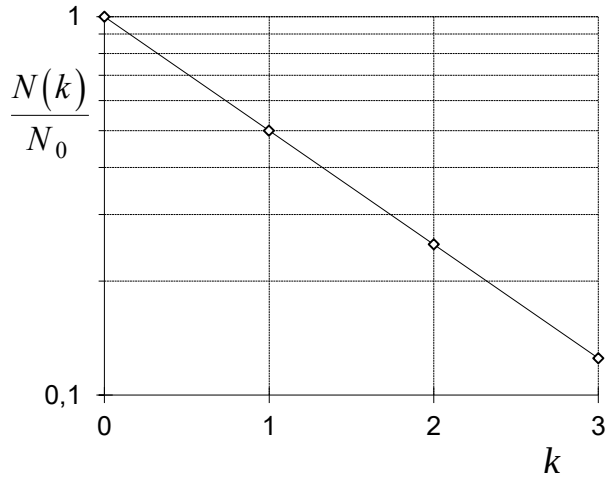


Рис. 1.5

штабе, откладывая по ординате функцию выживания N/N_0, а по оси абсцисс – время в линейном масштабе, то будем иметь дело с линейной зависимостью (рис. 1.5). Угловой коэффициент функции $f(k) = \ln(N/N_0)$ зависит от T. Если в радиоактивном препарате присут-ствуют не один, а несколько радио-нуклидов, например *1* и *2*, отличающихся между собою по периоду полураспада T, то результирующая функция *3* в полулогарифмическом масштабе будет отличаться от прямой (рис. 1.6). Получение отдельных (парциальных) зависимостей в таких случаях возможно графическим путем лишь для двух, иногда трех изотопов с контрастными периодами полураспада (отличающихся в нес-колько р

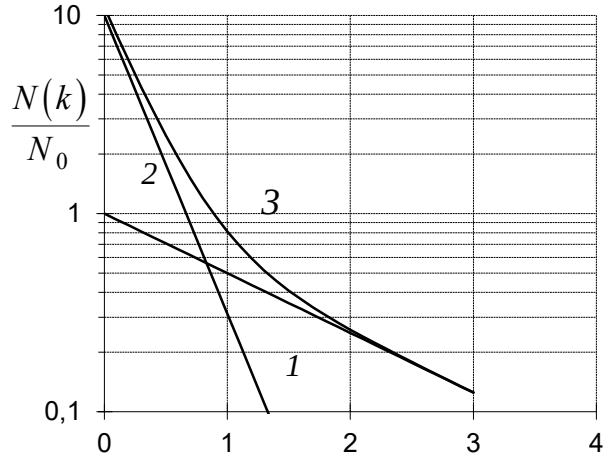


Рис. 1.6

Если функция $N(t)$ известна, например, получена по данным измерений активности радионуклида во времени, то его период полураспада может быть найден из следующей зависимости:

$$T = \ln 2\left(\ln a_1 - \ln a_2\right)^{-1}\Delta t, \qquad (1.12)$$

где a_1, a_2 - активности (или аппаратурные параметры), соответствующие моментам времени t_1 и t_2, а $\Delta t = t_2 - t_1$.

Численные значения периодов полураспада для естественно-радиоактивных элементов изменяются в очень больших пределах – от $1{,}40\cdot10^{10}$ лет для ${}_{90}Th^{232}$ до $2{,}09\cdot10^{-7}$ с для ThC′ (${}_{84}Po^{212}$).

Понятие о средней продолжительности жизни атомов

Ядра радионуклидов распадаются стохастически (случайно), независимо друг от друга, поэтому о времени жизни каждого отдельного ядра любого изотопа можно сказать, что это время меняется от нуля до бесконечности. Однако средняя продолжительность жизни большой группы атомов любого из

радионуклидов является определенной и устойчивой величиной, связанной с постоянной распада.

Допустим, что на некотором отрезке времени *dt* распалось *dN* ядер данного радионуклида. Тогда произведение *tdN* будет представлять собою суммарное время жизни всех ядер некоторой выборки *dN*, существующих в течение времени *t*, вплоть до отрезка *t* + *dt*. Если исходное количество ядер обозначить через N_0 и предположить, что любая сколь угодно малая выборка ядер может существовать неограниченное время от 0 до ∞, то для среднего времени жизни τ группы атомов N_0 можно записать:

$$\tau = \frac{1}{N_0}\int_0^{N_0} t dN \text{, или} \qquad (1.13)$$

$$\tau = \frac{1}{N_0}\int_0^{\infty} t\lambda N dt = \int_0^{\infty} t\lambda e^{-\lambda t} dt . \qquad (1.14)$$

Интеграл (1.14) легко берется по частям, поэтому, опуская промежутки, запишем:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} \cong 1{,}44T . \qquad (1.15)$$

Из-за статистического характера радиоактивного распада законы радиоактивных превращений выполняются строго лишь для очень большого количества распадающихся ядер *N*. При малых *N* наблюдаются отклонения от этих законов, называемые (статистическими) *флуктуациями*. Отклонение числа распадов *n* от среднего значения $\overline{N}$ подчиняется закону *распределения Пуассона*, согласно которому при большом количестве наблюдений распределение вероятностей *p*(*n*) того, что за определенный промежуток времени будет зарегистрировано *n* распадов, описывается выражением

$$p(n) = \frac{\overline{N}^{\,n}}{n!} e^{-\overline{N}} . \qquad (1.16)$$

При достаточно большом количестве ядер (на практике для $n \geq 30$), распадающихся за данный промежуток времени, пуассоновское дискретное распределение вероятностей *p*(*n*) может быть описано через непрерывное *распределение Гаусса* с дисперсией $\overline{N}$:

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\overline{N}}} \exp\left[-\frac{\left(n - \overline{N}\right)^2}{2\overline{N}} \right]. \qquad (1.17)$$

Величина среднеквадратического отклонения σ_n, характеризующая разброс значений *n* относительно среднего $\overline{N}$, рассчитывается по формуле

$$\sigma_n = \pm\sqrt{\overline{N}}\,. \qquad (1.18)$$

В соответствии с этим относительное среднеквадратическое отклонение δ_n определяется выражением

$$\delta_n = \frac{\sigma_n}{\overline{N}} = \frac{1}{\sqrt{\overline{N}}}. \qquad (1.19)$$

При использовании формул (1.18) и (1.19) следует иметь в виду, что они определяют лишь вероятность, а не возможность флуктуации. Около 30 % от числа распавшихся атомов отклоняются от среднего значения на величину, большую, чем σ_n, причем 4,5 % их них на величину $2\sigma_n$, а 0,3 % – на величину $3\sigma_n$.

Закономерности (1.16) - (1.19) справедливы как для распадающихся ядер, так и для аппаратурных параметров (например скорость счета импульсов), зарегистрированных любым детектором ядерных частиц.

1.4.2. Последовательные ядерные превращения

В ряде случаев при распаде ядер исходного (материнского) элемента, родоначальника радиоактивного семейства, образуются атомы другого (дочернего) элемента, которые также являются радиоактивными и при ядерном превращении дают начало третьему элементу и т. д. Другими словами, образуется цепочка последовательных превращений типа

$$N_1(t) \rightarrow N_2(t) \rightarrow ... \rightarrow N_{n\text{-}1}(t) \rightarrow N_n(t),$$

которая заканчивается образованием стабильных ядер. Если известно исходное количество ядер материнского элемента N_{01}, а также постоянные распада радионуклидов цепочки, то можно найти количество любого из дочерних продуктов в любой момент времени.

Вначале рассмотрим **случай двух веществ**. Допустим, что мы имеем дело с бинарной цепочкой

$$N_1(t) \rightarrow N_2(t).$$

Если обозначить через λ_1 и λ_2 постоянные распада материнского и дочернего радионуклида, то прирост дочерних ядер dN_2 за время dt составит

$$dN_2 = \lambda_1 N_1 dt - \lambda_2 N_2 dt\,, \qquad (1.20)$$

откуда скорость прироста составит

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2\,. \qquad (1.21)$$

Перепишем (1.21) с учетом того, что $N_1(t) = N_{01}\exp(-\lambda_1 t)$:

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \qquad (1.22)$$

Будем искать функцию $N_2(t)$, имея в виду, что при $t = 0$, $N_1(0) = N_{01}$. Обычным приемом при решении уравнений типа (1.22) является нахождение решения в виде суммы

$$N_2(t) = N_2'(t) + N_2''(t), \qquad (1.23)$$

где $N_2'(t)$ – общее, $N_2''(t)$ – частное решение уравнения (1.22).

Полагая нулю правую часть (1.22), имеем для общего решения:

$$N_2'(t) = A \exp(-\lambda_2 t).$$

Частное решение обычно ищется в соответствии со структурой правой части дифференциального уравнения. В нашем случае:

$$N_2''(t) = B \exp(-\lambda_1 t).$$

Будем искать постоянные интегрирования A и B. Поскольку частное решение обязано удовлетворять исходному дифференциальному уравнению (1.22), то можно записать:

$$-\lambda_1 B \exp(-\lambda_1 t) + \lambda_2 B \exp(-\lambda_1 t) = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \qquad (1.24)$$

Из (1.24) легко находится постоянная интегрирования:

$$B = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01}.$$

Постоянную A найдем из начального условия. Поскольку при $t = 0$ $N_2(0) = 0$ (процесс распада материнских ядер еще не начался), то, имея в виду (1.23), получим:

$$A + B = 0, \text{ откуда } A = -B = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01}.$$

С учетом полученного запишем выражение для искомой функции $N_2(t)$:

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\right]. \qquad (1.25)$$

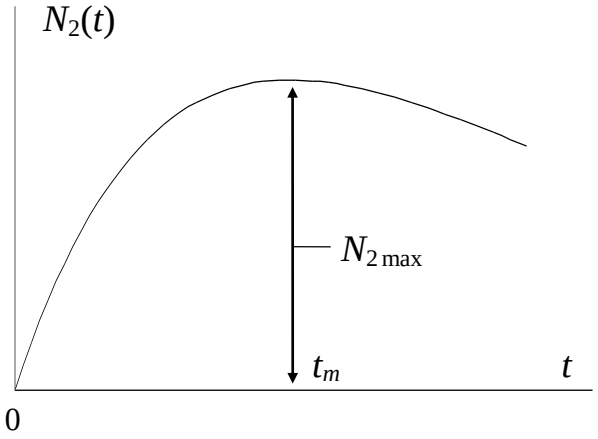


Рис. 1.7

Элементарный анализ формулы (1.25) убеждает, что функция $N_2(t)$ в нуле и в бесконечности оказывается равной нулю, поэтому в соответствии с *теоремой Ролля* она должна иметь экстремум (максимум), рис. 1.7. Решая задачу на максимум, имеем:

$\frac{d}{dt}\left[N_2(t)\right]=0$, откуда

$-\lambda_1 \exp(-\lambda_1 t_m)+\lambda_2 \exp(-\lambda_2 t_m)=0$, и

$$t_m=\frac{\ln\lambda_2-\ln\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}. \qquad (1.26)$$

Рассмотрим поведение $N_2(t)$ для частного случая, когда период полураспада материнского изотопа оказывается много больше периода полураспада дочернего продукта, т. е. $\lambda_1 << \lambda_2$. С учетом отмеченного неравенства формулу (1.25) можно переписать:

$$N_2(t)=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}N_{01}\exp(-\lambda_1 t)\left[1-\exp(-\lambda_2 t)\right], \text{ или} \qquad (1.27)$$

$$\lambda_2 N_2(t)=\lambda_1 N_1(t)\left[1-\exp(-\lambda_2 t)\right],\ \lambda_1 << \lambda_2. \qquad (1.28)$$

Произведение $A = \lambda N$ определяет *абсолютную активность* данного радиоактивного препарата или количество ядерных превращений, происходящих в нем за единицу времени. Обозначив активность материнского и дочернего продуктов через $A_1(t)$ и $A_2(t)$, получим:

$$A_2(t)=A_1(t)\left[1-\exp(-\lambda_2 t)\right]. \qquad (1.29)$$

Рассмотрим поведение функции $A_2(t)$ в начальные моменты времени (до достижения t_m), например, когда $t < T_2$ или $t << T_1$. В этом случае произведение $N_{01}\exp(-t\ \ln 2/T_1) \approx N_{01}$, т. е. количество ядер материнского изотопа за промежуток времени, много меньший, чем его период полураспада, практически не изменяется. Обозначим через $A_0 = \lambda_1 N_{01}$ начальную активность материнского вещества, тогда

$$\frac{A_2(t)}{A_0}=1-\exp(-\lambda_2 t). \qquad (1.30)$$

Другими словами, в начальные моменты времени (до достижения максимума) накопление дочерних ядер происходит пропорционально *функции накопления* $f(t) = 1 - \exp(-\lambda_2 t)$ с постоянной распада короткоживущего дочернего продукта, т. е. накопление дочернего вещества происходит достаточно быстро.

В моменты времени после достижения $N_2(t)$ максимума, например, когда $t > T_1$ или $t >> T_2$, непосредственно из (1.27) вытекает, что

$$A_2(t) = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \qquad (1.31)$$

Другими словами, уменьшение активности дочернего продукта (после достижения максимума) происходит пропорционально *функции остывания* $f(t) = \exp(-\lambda_1 t)$ с постоянной распада долгоживущего материнского вещества, т. е. относительно медленно.

Можно показать, что процесс накопления дочерних ядер всегда происходит быстро (с постоянной распада короткоживущего нуклида), а уменьшение едет медленно, т. е. с постоянной распада долгоживущего нуклида, вне зависимости от того, материнский это изотоп или дочерний.

Понятие о радиоактивном равновесии

Если в дифференциальном уравнении (1.21) левую часть принять равной нулю, то получим следующее равенство:

$$\lambda_1 N_1(t) = \lambda_2 N_2(t). \qquad (1.32)$$

Соотношение (1.32) характеризует состояние *радиоактивного равновесия*, наступающего по достижении максимума функции $N_2(t)$. Радиоактивное равновесие свидетельствует о равенстве активностей материнского и дочернего продуктов, при этом количество тех и других ядер меняется во времени, сохраняется постоянным лишь их отношение

$$\frac{N_2(t)}{N_1(t)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \text{const}. \qquad (1.33)$$

Различают *подвижное* и *устойчивое* (*вековое*) состояния радиоактивного равновесия. Допустим, что продолжительность жизни материнского вещества больше времени жизни любого из дочерних продуктов цепочки последовательных превращений, но пренебречь распадом («остыванием») материнского вещества нельзя. В этом случае по истечении достаточно длительного промежутка времени количество каждого из последующих продуктов превращения изменится по закону распада материнского вещества и отношение между количеством материнского изотопа и количеством

последующих продуктов распада будет приближаться к постоянному предельному значению.

Рассмотренный выше случай относится к так называемого подвижному равновесию, что имеет место, например, при установления равновесия между Rn (T = 3,825 суток) и его дочерними продуктами распада RaA, RaB и RaC. При малых периодах полураспада указанные продукты быстро достигают состояния радиоактивного равновесия с материнским веществом. Так, RaA (T = 3,05 мин.) приходит в состояние равновесия с Rn практически через 12-15 минут, а ThA (T = 0,16 с) практически всегда находится в равновесии с тороном (T = 54,5 с). То же самое относится к AcA (T = $1{,}08\cdot10^{-3}$ с), находящемуся в равновесии с актиноном (T = 3,9 с).

Если материнское вещество распадается настолько медленно, что его остыванием можно пренебречь, то во всей цепочке последовательных превращений по истечении достаточного времени наступит состояние, называемое устойчивым (вековым) равновесием. Накопление любого продукта цепочки будет происходить до тех пор, пока число его распадающихся ядер в единицу времени не окажется равным числу распадающихся в единицу времени ядер материнского вещества. Теоретически такое состояние может быть достигнуто через бесконечно большой промежуток времени, практически же он достигается за такой конечный отрезок, когда прирост ядер дочернего продукта уже нельзя заметить опытом. По достижении в радиоактивном ряду состояния устойчивого равновесия количество распадающихся в единицу времени атомов любого радионуклида цепочки становится одинаковым, т. е.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \ldots = \lambda_n N_n = \text{const}. \qquad (1.34)$$

Из (1.34) видно, что при устойчивом радиоактивном равновесии число атомов N_1, N_2, ..., N_n пропорционально их периодам полураспада.

Число ядер радионуклида, соответствующее активности 1 расп/с, можно оценить как $N = 1/\lambda$, а масса вещества в грамм, излучающая эту активность, составляет:

$$m = N\frac{A}{N_A} = \frac{A}{\lambda N_A} = \frac{A}{N_A}\frac{T}{\ln 2},$$

где N_A – число Авогадро; A – атомный вес радионуклида.

О радиоактивном равновесии между U и Ra

Радиоактивное равновесие между ураном и радием наступает по истечении длительного промежутка времени и наблюдается в древних хорошо сохранившихся породах и минералах. Имея в виду (1.32), оценим количество Ra, находящегося в равновесии с одним граммом U. Полагая массу урана

равной 1 г, а периоды полураспада $_{92}U^{238}$ и $_{88}Ra^{226}$ равными $4{,}47\cdot10^9$ и 1602 лет, соответственно, получим:

$$m_{Ra} = m_U \frac{\lambda_U}{\lambda_{Ra}} \frac{A_{Ra}}{A_U}, \qquad (1.35)$$

где A_{Ra}, A_U – массовые числа радия и урана.

Из (1.35) следует, что один грамм U соответствует активности (количеству распадов в единицу времени) $3{,}4\cdot10^{-7}$ г Ra, т. е. из трех тонн равновесного U можно извлечь примерно один грамм Ra.

Происходящие в природе процессы растворения и выщелачивания радиоактивных элементов из горных пород и минералов приводят к нарушениям радиоактивного равновесия и, в частности, вызывают смещение равновесия между Ra и U. В этом случае степень смещения равновесия выражается в % и определяется соотношением

$$K_{рр} = \frac{\alpha}{\alpha_0} 100\,\%, \text{ или} \qquad (1.36)$$

$$K_{рр} = \frac{Q_{Ra}}{Q_U} \frac{100\,\%}{3{,}4\cdot10^{-7}},$$

где α – отношение Ra к U в исследуемом образце;

α_0 – равновесное соотношение между Ra и U ($3{,}4\cdot10^{-7}$);

Q_{Ra}, Q_U – содержания Ra и U в исследуемом образце.

Если $\alpha > \alpha_0$, то говорят о смещении равновесия в сторону Ra; при $\alpha < \alpha_0$ – в сторону U; если $\alpha = \alpha_0$ – равновесной руде.

Отношение (1.36) называется *коэффициентом радиоактивного равновесия* между Ra и U и может меняться от 0 до ∞. Сведения о состоянии радиоактивного равновесия имеют важное значение при интерпретации результатов γ-измерений, например при количественных определениях U по результатам γ-каротажа.

Случай трех веществ

Допустим, что имеется цепочка последовательных превращений

$N_1(t) \rightarrow N_2(t) \rightarrow N_3(t)$.

Атомы 3-го вещества образуются за счет распада 2-го вещества, который, в свою очередь, возникает за счет распада материнских ядер.

Будем считать, что в начальный момент времени $t = 0$, $N_1(0) \neq 0$, $N_2(0) = 0$, $N_3(0) = 0$. Требуется найти выражение для функции $N_3(t)$, т. е. количество ядер третьего продукта в любой момент времени. Скорость прироста ядер 3-го элемента можно записать следующим образом:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3, \text{ или} \tag{1.37}$$

$$\frac{dN_3}{dt} + \lambda_3 N_3 = \lambda_2 N_2. \tag{1.38}$$

Имея в виду, что количество ядер N_2 зависит от времени и определяется формулой (1.25), получим:

$$\frac{dN_3}{dt} + \lambda_3 N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\right]. \tag{1.39}$$

Будем искать функцию $N_3(t)$ в виде суммы

$$N_3(t) = N_3'(t) + N_3''(t), \tag{1.40}$$

где $N_3'(t)$ – общее, $N_3''(t)$ – частное решение уравнения (1.39).

Полагая нулю правую часть (1.39), получим для общего решения:

$$N_3'(t) = A\exp(-\lambda_3 t).$$

Частное решение будем искать в виде, соответствующем структуре правой части уравнения. В нашем случае:

$$N_3''(t) = B\exp(-\lambda_1 t) + C\exp(-\lambda_2 t).$$

Поскольку частное решение обязано удовлетворять исходному дифференциальному уравнению, то, учитывая, что

$$\frac{dN_3''}{dt} = -\lambda_1 B\exp(-\lambda_1 t) - \lambda_2 C\exp(-\lambda_2 t), \text{ имеем:}$$

$$B(\lambda_3 - \lambda_1)\exp(-\lambda_1 t) - C(\lambda_3 - \lambda_1)\exp(-\lambda_2 t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\right],$$

откуда легко находятся постоянные интегрирования B и C:

$$B = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} N_{01},\ C = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} N_{01}.$$

Постоянную интегрирования A найдем, имея в виду начальное условие. Считая, что при $t = 0$, $N_3(0) = 0$, получим из (1.40): $A + B + C = 0$, откуда легко показать, что

$$A = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} N_{01}.$$

Подставляя выражения для постоянных A, B и C в (1.40), имеем:

$$N_3(t) = \lambda_1\lambda_2 N_{01}\left[\frac{\exp(-\lambda_1 t)}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)} + \frac{\exp(-\lambda_2 t)}{(\lambda_1-\lambda_2)(\lambda_3-\lambda_2)} + \frac{\exp(-\lambda_3 t)}{(\lambda_1-\lambda_3)(\lambda_2-\lambda_3)}\right]. \quad (1.41)$$

Обобщение на случай *n* веществ

Пусть имеется цепочка ядерных превращений типа

$N_1(t) \to N_2(t) \to ... \to N_{n-1}(t) \to N_n(t)$.

Будем считать, что в начальный момент времени $t = 0$, $N_1(0) \neq 0$, $N_2(0) = N_3(0) = ... = N_n(0) = 0$. Имея в виду особенности правых частей функций $N_2(t)$ и $N_3(t)$, формулы (1.25) и (1.41), запишем для $N_n(t)$:

$$N_n(t) = \lambda_1\lambda_2...\lambda_{n-1} N_{01}\left[\frac{\exp(-\lambda_1 t)}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)...(\lambda_n-\lambda_1)} + \right.$$

$$\left.\frac{\exp(-\lambda_2 t)}{(\lambda_1-\lambda_2)(\lambda_3-\lambda_2)...(\lambda_n-\lambda_2)} + ... + \frac{\exp(-\lambda_n t)}{(\lambda_1-\lambda_n)(\lambda_2-\lambda_n)...(\lambda_{n-1}-\lambda_n)}\right]. \quad (1.42)$$

Если период полураспада первого (материнского) вещества является наибольшим, то по истечении достаточно длительного времени в цепочке из n веществ устанавливается состояние радиоактивного равновесия либо подвижное, либо вековое. В первом случае количество каждого нуклида уменьшается пропорционально остыванию материнского вещества:

$$\lim\frac{N_n}{N_1} = \frac{\lambda_1\lambda_2...\lambda_{n-1}}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)...(\lambda_n-\lambda_1)}. \quad (1.43)$$

Если же период полураспада материнского (1-го) вещества оказывается настолько большим, что $\lambda_1 << \lambda_2$, $\lambda_1 << \lambda_3$, ..., $\lambda_1 << \lambda_n$, то в этом случае между материнским и дочерними радионуклидами устанавливается вековое равновесие, которое характеризуется равенством активностей:

$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = ... = \lambda_n N_n$.

Радиоактивное равновесие в цепочке последовательных превращений практически наступает спустя время, на порядок превышающее период полураспада дочернего радионуклида с наибольшим временем жизни.

1.5. Естественные радиоактивные элементы

Систематическое изучение радиоактивности природных сред показало, что в любой горной породе содержатся (в разных количествах) радиоактивные изотопы тяжелых элементов с числами Менделеева от 81 до 92.

К числу естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ), все изотопы которых являются неустойчивыми, относятся элементы от $_{84}$Po до $_{92}$U. Встречающиеся в природе $_{81}$Tl, $_{82}$Pb, $_{83}$Bi содержат в своем составе радиоактивные изотопы. Имеются радиоактивные изотопы и у других элементов средней части таблицы Менделеева.

Таблица 1.2

Ядерные характеристики одиночных естественных радионуклидов

Изотоп	Отн. распростр., %	Период полураспада	Схема распада	Дочернее ядро	Энергия излучений, МэВ
$_{19}K^{40}$	0,0119	$1{,}27\cdot10^{9}$ лет	β^--распад (89%) *K-захват* (11%)	$_{20}Ca^{40}$ $_{19}Ar^{40}$	β_m - 1,325 γ - 1,460
$_{37}Rb^{87}$	27,5	$4{,}7\cdot10^{10}$ лет	β^--распад	$_{38}Sr^{87}$	β_m - 0,274 γ - 0,394
$_{49}In^{115}$	95,72	$6{,}0\cdot10^{14}$ лет	β^--распад	$_{49}Sn^{115}$	β_m - 0,6
$_{57}La^{138}$	0,089	$1{,}1\cdot10^{11}$ лет	β^--распад (6%) *K-захват* (94%)	$_{58}Ce^{138}$ $_{56}Ba^{138}$	β_m - 1,0 γ - 0,81, 1,43
$_{62}Sm^{147}$	14,97	$1{,}2\cdot10^{11}$ лет	α-распад	$_{60}Nd^{143}$	α - 2,18
$_{71}Lu^{176}$	2,59	$2{,}1\cdot10^{10}$ лет	β^--распад (33%) *K-захват* (67%)	$_{72}Hf^{176}$ $_{70}Yb^{176}$	β_m - 0,43 γ - 0,19, 0,31
$_{75}Re^{187}$	66,93	$1{,}2\cdot10^{11}$ лет	β^--распад	$_{76}Os^{187}$	$\beta_m < 0{,}008$ γ - нет
$_{78}Pt^{190}$	0,012	$6{,}9\cdot10^{11}$ лет	α-распад	$_{76}Os^{186}$	α - 3,3

В 1906 г. Кэмпбелл и Вуд обнаружили слабую β^--активность у калия и рубидия, которая не была обусловлена какими-либо примесями, поскольку оказалась пропорциональной массовой доле элемента. Впоследствии выяснилось, что радиоактивность К связана с присутствием в его составе малораспространенного изотопа $_{19}K^{40}$, распадающегося по схеме β^-- и *K*-захвата. Радиоактивным изотопом рубидия оказался $_{37}Rb^{87}$, испускающий β^--частицы. Известны и другие радионуклиды, встречающиеся в земной коре, их основные свойства приведены в табл. 1.2.

1.5.2. Ядерная геохронология

Особенности ядерных превращений широко используются в приложениях, в частности для определения абсолютного возраста горных

пород. Известно, что в любой горной породе можно обнаружить даже самые микроскопические количества любого химического элемента, включая и естественно-радиоактивные.

Допустим, что начальное количество ядер некоторого радионуклида в заданном образце горной породы составляет N_0 ядер. Если установлено, что за прошедший период этот радионуклид не выносился или дополнительно не поступал в исследуемую породу, то, зная постоянную распада радионуклида и соотношение начального N_0 и конечного количества N ядер, можно вычислить время t, которое потребовалось для этого соотношения.

Конечное (существующее на момент датировки) содержание радионуклида определяется аналитически (химия, радиохимия, γ-спектрометрия и др. методы анализа). О начальном содержании N_0 судят по количеству накопившегося в породе стабильного изотопа $N_{ст}$, являющегося конечным продуктом распада исходного радионуклида. При этом используется то обстоятельство, что начальное содержание радионуклида может быть представлено в виде суммы его концентрации N на момент исследований и содержания $N_{ст}$ – продукта распада, т. е.

$$N_0 = N + N_{ст}. \tag{1.44}$$

Учитывая, что $N = N_0 \exp(-\lambda t)$, имеем:

$$\frac{N_{ст}}{N} = \exp(\lambda t) - 1, \text{ откуда} \tag{1.45}$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{N_{ст}}{N}\right). \tag{1.46}$$

Первые методы определения абсолютного возраста были основаны на использовании цепочки последовательных превращений U, Th и актиноурана в соответствующие стабильные изотопы ${}_{82}Pb^{206}$, ${}_{82}Pb^{208}$ и ${}_{82}Pb^{207}$:

$$\begin{cases} {}_{92}U^{238} \rightarrow 8\,{}_{2}He^{4} + {}_{82}Pb^{206}; \\ {}_{92}U^{235} \rightarrow 7\,{}_{2}He^{4} + {}_{82}Pb^{207}; \\ {}_{90}Th^{232} \rightarrow 6\,{}_{2}He^{4} + {}_{82}Pb^{208}. \end{cases} \tag{1.47}$$

В результате этих реакций образуется He и изотопы Pb в зависимости от того, по какому из указанных конечных продуктов распада определяется возраст, метод соответственно называется *гелиевым* или *свинцовым*.

В наиболее простом случае, когда возраст минерала априори относительно невелик ($t < 200$ млн лет), а Th в его составе отсутствует, возраст может быть оценен приближенно по формуле

$$t = 1{,}155 \frac{1}{\lambda_{U^{238}}} \frac{C_{Pb}}{C_U}, \qquad (1.48)$$

где C_{Pb}, C_U - массовые доли свинца и урана.

При наличии в минерале Th его содержание выражают в эквиваленте U, учитывая соотношения их активностей. Формула для расчета возраста при этом выглядит так:

$$t = 7600 \frac{C_{Pb}}{0{,}36 C_{Th} + C_U}. \qquad (1.49)$$

При более древнем возрасте минералов (t > 200 млн. лет) его рассчитывают через содержания изотопов свинца $_{82}Pb^{206}$, $_{82}Pb^{207}$ и $_{82}Pb^{208}$, определяемые масс-спектрометрическим методом.

Расчет ведется по формулам [59]:

$$\begin{cases} t = \dfrac{1}{\lambda_{U^{238}}} \ln\left(1 + 1{,}155 \dfrac{C_{Pb^{206}}}{C_{U^{238}}}\right); \\ t = \dfrac{1}{\lambda_{U^{235}}} \ln\left(1 + 1{,}135 \dfrac{C_{Pb^{207}}}{C_{U^{235}}}\right); \\ t = \dfrac{1}{\lambda_{Th^{232}}} \ln\left(1 + 1{,}115 \dfrac{C_{Pb^{208}}}{C_{Th^{232}}}\right). \end{cases} \qquad (1.50)$$

Возраст, полученный по трем формулам (1.50), теоретически должен быть одинаковым. В действительности этого обычно не наблюдается, так как природные системы не являются полностью закрытыми, и на протяжении геологической истории возможна частичная потеря как промежуточных, так и конечных нуклидов. Определенную погрешность дают также и масс-спектрометрические измерения.

Для определения истинного возраста урановых минералов и руд применяют способ так называемой «*кривой конкордии*». Указанная кривая представляет собою теоретическую зависимость отношения $_{82}Pb^{207}/_{92}U^{235}$ к $_{82}Pb^{206}/_{92}U^{238}$ от возраста природных сред, построенного на основании закона распада (рис. 1.9) [59].

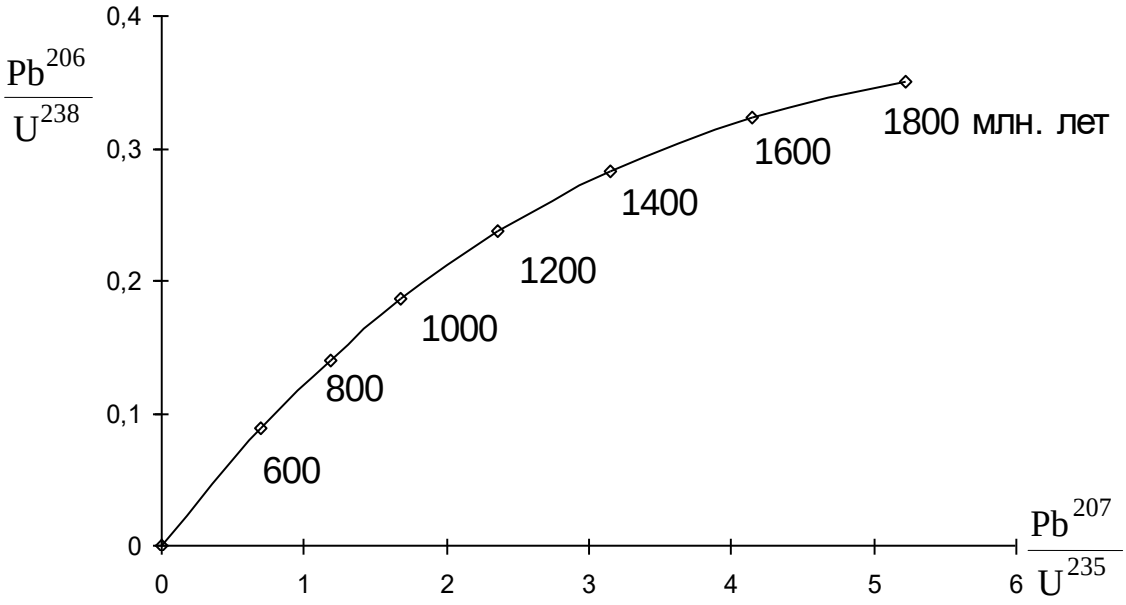


Рис. 1.9

Кроме указанных методов, для датировки природных образований используются также K-Ar-, Rb-Sr- и радиоуглеродный (C^{14}) методы.

Калий-аргоновый метод. Калий - широко распространенный элемент, входит в состав большинства горных пород. Кларк К в земной коре равен 2,5 %, его содержание в горных породах колеблется от 0,03 до 3,34 % (кроме солей). Почти 18 % массы земной коры приходится на долю К-содержащего минерала – ортоклаза (КПШ). Это двойная соль кремниевой кислоты $K_2O{\cdot}Àl_2O_3{\cdot}6SiO_2$. В результате химического выветривания ортоклаз превращается в каолин, песок (SiO_2) и воду. По этой причине К можно встретить как в изверженных, так и в осадочных горных породах.

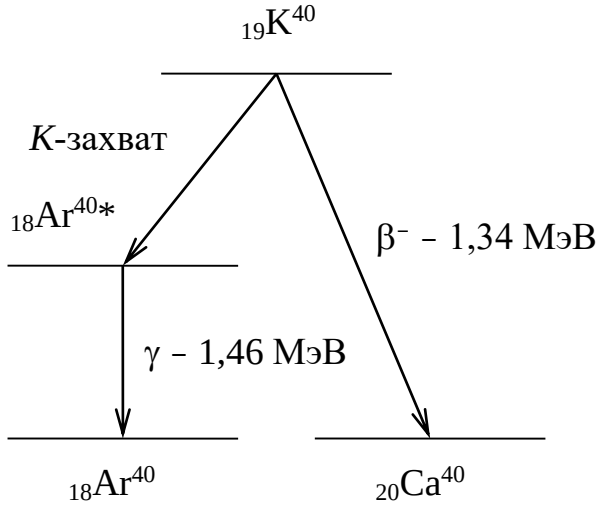


Рис. 1.10

Природная смесь К состоит из двух стабильных изотопов $_{19}К^{39}$ (98,03 %), $_{19}К^{41}$ (6,91 %) и одного радиоактивного - $_{19}К^{40}$ (0,0119 %). Радиоактивный изотоп калия распадается путем β^--превращения (с вероятностью 89 %) и превращения типа *К*-захвата (11 %), сопровождающегося γ-излучением с энергией 1,46 МэВ (рис. 1.10). В результате *К*-захвата по схеме

$$_{19}К^{40} + \beta^- \rightarrow {}_{18}Ar^{40} + \upsilon$$

образуется возбужденное ядро $_{18}Ar^{40}$*, которое переходит в основное состояние после испускания γ-кванта с энергией 1,46 МэВ.

Постоянная распада λ_e, соответствующая явлению *e*-захвата, для $_{19}K^{40}$ составляет $0{,}585\cdot10^{-10}$ год$^{-1}$. Бета-минус распад $_{19}K^{40}$ приводит к образованию стабильного изотопа $_{20}Ca^{40}$ по схеме

$$_{19}K^{40} - \beta^- \rightarrow {}_{20}Ca^{40} + \tilde{\upsilon}.$$

Постоянная β^--распада $_{19}K^{40}$ составляет $\lambda_\beta = 4{,}72\cdot10^{-10}$ год$^{-1}$.

При расчетах значение абсолютного возраста *t* может быть получено из следующего соотношения:

$$t = \frac{1}{\lambda_\beta + \lambda_e} \ln\left(1 + \frac{\lambda_\beta + \lambda_e}{\lambda_e} \frac{C_{Ar^{40}}}{C_{K^{40}}}\right). \qquad (1.51)$$

Надежность датировки пород с помощью K-Ar-метода во многом зависит от скорости утечки образующегося Ar из минералов.

Рубидиево-стронциевый метод. Рубидий – химический элемент I группы периодической системы, имеет порядковый номер $Z = 37$ и атомный вес $A = 85{,}47$. Рубидий малораспространен в природе, его кларк в земной коре составляет 0,015 % по массе.

Среди изверженных пород наиболее высокие содержания Rb отмечаются в кислых разностях (0,02 %), а наиболее низкие – в ультрабазитах (2 г/т). Среднее содержание Rb в глинах и глинистых сланцах 0,02 %. В природе Rb, как правило, встречается совместно с Cs и собственных минералов не образует. Наиболее высокие концентрации этих элементов наблюдаются в некоторых минералах пегматитовых жил: полевых шпатах, слюдах, бериллах и особенно в поллуците. Содержание Rb в ортоклазах и микроклинах может достигать 2,7-2,8 %, в мусковитах – 1,8, в биотитах – 0,37, в лепидолитах – 2,7-3,7 %.

Природный рубидий состоит из смеси двух изотопов с массовыми числами 85 (72,81 %) и 87 (27,19 %). Изотоп $_{37}Rb^{87}$ β-радиоактивен и распадается по схеме

$$_{37}Rb^{87} - \beta^- \rightarrow {}_{38}Sr^{87} + \tilde{\upsilon}$$

с периодом полураспада $T = 4{,}7\cdot10^{10}$ лет. В природных условиях встречаются четыре стабильных изотопа стронция: $_{38}Sr^{84}$ (0,56 %), $_{38}Sr^{86}$ (9,86 %), $_{38}Sr^{87}$ (7,02 %) и $_{38}Sr^{88}$ (82,56 %).

Данные по относительной распространенности стабильных изотопов *Sr* были получены после того, как Гольдшмидт в 1937 г. высказал предположение, что β^--распад $_{37}Rb^{87}$ с образованием $_{38}Sr^{87}$ можно использовать в качестве

геохронометра. Поскольку изотоп $_{38}Sr^{87}$ может быть как естественным, так и радиогенным (за счет распада $_{37}Rb^{87}$), то при расчете геологического возраста следует сопоставлять между собою массовые доли радионуклида $_{37}Rb^{87}$ и радиогенной «добавки» $_{38}Sr^{87}$.

Время *t*, необходимое для получения имеющегося в данном образце количества радиогенного $_{38}Sr^{87}$, рассчитывается из соотношения

$$t = \frac{1}{\lambda_{Rb^{87}}} \frac{C_{Sr^{87}}}{C_{Rb^{87}}}, \qquad (1.52)$$

где $\lambda_{Rb^{87}}$ – постоянная распада материнского изотопа $_{37}Rb^{87}$;

$C_{Rb^{87}}$, $C_{Sr^{87}}$ – массовые доли изотопа $_{37}Rb^{87}$ и радиогенного $_{38}Sr^{87}$.

Радиоуглеродный метод. Ниже рассматривается метод, который широко используется для датировки объектов жизнедеятельности, существовавших тысячи или первые десятки тысяч лет. Речь идет о датировке по радиоуглероду $_6C^{14}$, который образуется в атмосфере под действием космического излучения.

Космические лучи, состоящие из частиц высокой энергии, разрушают в верхних слоях атмосферы ядра атомов азота, входящих в состав воздуха. При этом образуются вторичные ядерные частицы и дочерние продукты, которые могут быть радиоактивными. Вторичные ядерные частицы, например нейтроны, могут взаимодействовать с $_7N^{14}$ и образовывать $_1H^3$ и $_6C^{14}$:

$$_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{12} + {}_1H^3,$$
$$_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1.$$

Первая из этих реакций идет на быстрых, а вторая на тепловых нейтронах. Возникающие под действием космических лучей нейтроны замедляются в воздухе до тепловых энергий, поэтому скорость образования ядер $_6C^{14}$ оказывается заметно выше скорости образования $_1H^3$ (примерно 2,3 атом/с на 1 см^2 поверхности для $_6C^{14}$ и 0,4 атома $_1H^3$ при тех же условиях).

Радиоуглерод $_6C^{14}$ является β^--излучателем с периодом полураспада 5570 лет. Максимальная энергия β-частиц составляет 155 кэВ. Если предположить, что интенсивность космического излучения оставалось постоянной за последние десятки тысяч лет, то, исходя из периода полураспада $_6C^{14}$, можно считать, что к настоящему времени достигнуто равновесие между образующимися и распадающимися ядрами $_6C^{14}$. Атом радиоуглерода в воздухе довольно быстро окисляется и переходит в двуокись $C\hat{I}_2$.

Растительный мир живет за счет атмосферного углекислого газа. Животный мир питается растительным, и, следовательно, слабо радиоактивный углерод проникает в организм животных. В результате распада атомов $_6C^{14}$

каждый грамм углерода в живом организме испускает примерно 15 β-частиц в минуту. Когда жизнедеятельность прекращается, то обрывается и углеродный обмен с атмосферой и биосферой, количество атомов ${}_6C^{14}$ в организме не восполняется, происходит лишь их распад с известным периодом. Спустя 5570 лет после прекращения жизнедеятельности, число испускаемых β-частиц на каждый грамм содержащегося в нем С уменьшается вдвое, а спустя два периода полураспада ${}_6C^{14}$, это число уменьшится в 4 раза. Следовательно, измеряя удельную активность ${}_6C^{14}$, можно установить в пределах точности метода, когда для изучаемого объекта прекратился углеродный обмен, т. е. когда этот живой организм умер.

Зная удельную радиоактивность атмосферного углерода I_0 (та же, что и в организме) и активность исследуемого ископаемого остатка I, можно вычислить возраст с момента прекращения обмена углеродом:

$$t = \frac{1}{\lambda_{C^{14}}} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right). \qquad (1.53)$$

Радиоуглеродный метод применим для датировки образований, возраст которых не превышает 20 тыс. лет. Для него пригодны древесный уголь (обугленное вещество), древесина, торф, кости, раковины и т. п.

Радиоуглеродный метод был проверен на образцах пород, возраст которых был хорошо известен из археологических данных. Одним образцом служил брусок кипариса из гробницы фараона Снофру; возраст бруска по археологическим данным оценивался в 5600 лет. Другой образец был взят из палубы похоронного судна фараона Сезостриса III; возраст – 3800 лет. Для каждого из этих образцов, как и для ряда других, возраст по ${}_6C^{14}$ совпал с археологическими данными с точностью ±10 % относительных [61].

1.5.3. Физико-химические свойства некоторых естественно-радиоактивных элементов

Уран (U). Уран является наиболее тяжелым природным элементом с порядковым номером 92. Атомный вес природной смеси его изотопов (U^{238}, U^{235}, U^{234}) равен 238,03, плотность урана – 18,9 г/см^3. Этот элемент открыт Клапротом в 1782 г., а его радиоактивность обнаружена Беккерелем в 1896 году. Уран характеризуется большим зарядом ядра и сложным строением электронной оболочки. В природных условиях он встречается в 4- (U^{+4}) и 6-валентной (U^{+6}) формах. Основной особенностью U является большая химическая активность и сильная восстановительная способность, особенно ярко проявляющаяся в кислых водных растворах. С кислородом U образует

оксиды UO_2, U_3O_8, и UO_3. Последний оксид в природных условиях без воды обычно не встречается. Галогенные соединения урана неустойчивы и весьма летучи. Сульфатные соединения урана в природе неизвестны. В природных условиях соединения 4-валентного U имеют черный, темно-коричневый и красно-бурый цвет и характеризуют гипогенные условия образования минералов при условиях восстановительной среды. Соединения U^{+6} имеют яркий зеленовато-желтый цвет и относятся ко вторичным урановым минералам.

Все урановые минералы делятся на *первичные* и *вторичные*. В группу первичных минералов U, представленных его оксидами, в первую очередь выделяют уранинит и настуран, отличающийся от уранинита тем, что он образуется в виде плотных натечных форм. Для всех первичных минералов U характерно присутствие Th. Вторичные минералы U представлены карбонатами, силикатами, фосфатами, ванадатами и сульфатами уранила. Во вторичных урановых минералах Th, как правило, отсутствует.

Кларк U в земной коре составляет $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ %. Наиболее высокие средние содержания урана отмечаются в кислых изверженных породах (4,5 г/т), а наиболее низкие – в ультрабазитах $3 \cdot 10^{-7}$ %. В глинах и глинистых сланцах среднее содержание урана 3,2 г/т. Основная масса U (60 - 90 %) находится в литосфере в рассеянном состоянии, хотя известно большое количество (~200) U-содержащих минералов. Наибольшее практическое значение из них имеет около 30. Многие U-содержащие минералы являются сырьем на редкие земли и другие элементы.

Природные скопления урана образуются при магматических и гидротермальных процессах, при осадконакоплении, метаморфизме и выветривании пород. Встречаются как собственно урановые месторождения, так и комплексные. Массовые доли U в рудах колеблются от сотых долей процента до первых процентов. Среди урановых руд выделяют богатые (1-3 %), рядовые (0,1-1,0 %) и бедные (0,05-0,1 %). Из комплексных руд U извлекается и при убогих концентрациях (< 0,05 %)

Изотоп U^{235} делится под действием тепловых нейтронов и является основным сырьем для тепловых АЭС. Наиболее распространенный изотоп U^{238} делится под действием быстрых нейтронов и служит сырьем для получения стратегического делящегося материала – плутония. Образование Pu идет по следующей схеме:

$$_{92}U^{238} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{92}U^{239}\ (\beta^-,\ 25\ \text{мин}) \rightarrow {}_{93}Np^{239}\ (\beta^-,\ 2{,}33\ \text{сут}) \rightarrow {}_{94}Pu^{239}.$$

Изотоп $_{94}Pu^{239}$ был открыт в 1941 г; он является α-излучателем с периодом полураспада $2{,}44 \cdot 10^4$ лет, превращаясь в дочерний продукт $_{92}U^{235}$.

Изотоп $_{94}Pu^{239}$ имеет очень большое сечение деления тепловыми нейтронами (738 барн) и испускает при одном акте деления ~2,9 нейтрона, что позволяет использовать $_{94}Pu^{239}$ в качестве стратегического сырья.

До пуска первых атомных реакторов урановые руды добывали в основном для извлечения из них Ra. Мизерные количества урановых соединений использовали в некоторых красителях и катализаторах. Когда из элемента, не имеющего почти никакого промышленного значения, U превратился в стратегическое сырье № 1, началась настоящая охота за его рудами. Чуть ли не все уголки земного шара были обследованы на U, благо его радиоактивность подсказывала принципы конструирования чувствительных поисковых радиометров.

При среднем содержании урана 2,5 г/т в некоторых горных породах, например в гранитах, его массовая доля составляет 4,5 г/т. Полная энергия, «спрятанная» в этих граммах, эквивалентна теплосодержанию сотен тонн каменного угля. Поэтому (а еще и потому, что во всем мире наблюдается устойчивая тенденция к извлечению U, и не только его, из все более бедных руд) можно полагать, что со временем гранит вполне может оказаться одним из видов минерального сырья. Всего в относительно тонком, 20-км верхнем слое Земли заключено 10^{14} т U. Количество громадное, способное удовлетворить все энергетические потребности человечества на долгое время. Энергия этого U оценивается астрономической цифрой – $2{,}3 \cdot 10^{24}$ киловатт-часов. Это в 10^6 раз больше, чем могут дать все разведанные и предполагаемые месторождения горючих полезных ископаемых.

Если бы в массе планеты концентрация U была такой же, как в гранитном слое, то температура Земли была бы намного выше существующей. Это обстоятельство, подтвержденное прямыми измерениями, показывает, что по мере продвижения к центру Земли концентрация U падает.

Способов извлечения U из руд разработано великое множество. Причина тому, с одной стороны – стратегическая важность этого элемента, а с другой, – разнообразие его минеральных форм. Но каков бы ни был метод или сырье, любое урановое производство включает три стадии: предварительное концентрирование (обогащение), выщелачивание U и получение достаточно чистых соединений U осаждением, экстракцией или ионным обменом. Далее, в зависимости от назначения получаемого урана, следует обогащение продукта изотопом U^{235} или сразу же восстановление элементного (металлического) урана.

Радий (Ra). Промежуточный продукт распада в радиоактивном семействе U^{238}, радий имеет порядковый номер 88 и атомный вес 226, плотность 5,0 г/см^3. Открыт супругами Кюри в 1898 г. В чистом виде представляет собой довольно мягкий металл серебристого цвета. Химические свойства Ra близки к свойствам Ba, вместе с которым они часто встречаются в руде. Радий всегда двухвалентен. При взаимодействии с кислотами оксиды и гидраты окисей Ra легко образуют соли, причем соли с анионами Cl^- и NO_3^- легкорастворимы, а соли с анионами F^-, SO_4^-, CO_3^- – труднорастворимы в воде.

В природных условиях Ra встречается преимущественно в рассеянном состоянии и вследствие чрезвычайно низкого кларка ($1\cdot10^{-10}$ %) самостоятельных минералов не образует. Наиболее высокие содержания Ra отмечаются в кислых породах, а наиболее низкие – в ультрабазитах. Среднее содержание Ra в глинах и глинистых сланцах $1\cdot10^{-10}$ %.

Наиболее распространенный изотоп $_{88}Ra^{226}$ образуется за счет α-распада иония Io ($_{90}Th^{230}$). Изотоп $_{88}Ra^{226}$ является α-излучателем с периодом полураспада 1602 лет. Кроме этого изотопа, в природе еще известен продукт цепочки ядерных превращений семейства U^{235} - Ra^{223} (T = 11,43 сут) и продукт цепочки Th^{232} - Ra^{224} (T = 3,64 сут).

Радон (Rn). Радиоактивный инертный газ (эманация), существует в природе как одно из промежуточных звеньев в цепочке ядерных превращений семейства U^{238}. Образуется в результате α-распада Ra^{226}. Массовое число 222, атомный номер 86, период полураспада 3,825 сут. Является α-излучателем. К настоящему времени известно 19 изотопов Rn с массовыми числами 204 и от 206 до 224. Искусственным путем получено 16 изотопов. В природных средах существует всего три изотопа Rn.

Эманация тория – Tn ($_{86}Rn^{220}$ – торон) является членом другого естественно-радиоактивного семейства – ряда $_{90}Th^{232}$. Это изотоп радона с массовым числом 220 и периодом полураспада 55,6 с.

Третий природный изотоп радона – актинон An ($_{86}Rn^{219}$). Так же как радон и торон, он является радиоактивным газом, относящихся к группе инертных (благородных) газов. Актинон является членом семейства актиноурана $_{92}U^{235}$, его массовое число 219, период полураспада 3,96 с.

Рассматриваемые эманации распространены в почвенном и (очень незначительно) в атмосферном воздухе, а также в минеральных источниках. Концентрация Rn в почвенном воздухе изменяется в широких пределах: от $2{,}6\cdot10^{-15}$ до $44\cdot10^{-15}$ %. В районах развитого уранового оруденения концентрация Rn в почвенном воздухе может достигать 10^{-12} %. В атмосферном воздухе

концентрация Rn невелика, примерно на три порядка ниже нормальной концентрации в почвенном воздухе, и составляет ~$4 \cdot 10^{-18}$ %.

В природных водах концентрация Rn меняется в очень широких пределах – от $4 \cdot 10^{-16}$ до $4 \cdot 10^{-10}$ %.

Торий (Th). Естественно-радиоактивный элемент Th состоит из одного изотопа с массовым числом 232, который является родоначальником ториевого семейства. Открыт Берцелиусом в 1828 г., а его радиоактивность обнаружена М. Кюри в 1898 г.

Торий – металл белого цвета, плотностью 11,7 г/см^3, темнеющий на открытом воздухе. Торий является относительно широко распространенным элементом, его присутствие можно обнаружить практически в любой горной породе. Кларк Th составляет $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ % (15 г/т), т. е. примерно в четыре раза выше кларка урана. Наиболее высокое содержание тория отмечается в кислых породах (18 г/т), минимальные – в ультрабазитах (до $5 \cdot 10^{-7}$ %). В некоторых типах изверженных пород содержание Th достигает сотых долей процента, в глинах и глинистых сланцах – 11 г/т.

Известно более 120 Th-содержащих минералов, однако промышленное значение имеют немногие: монацит (GeLaTh)[PO_4], торит $ThSiO_4$, ураноторит, торианит и др. Торий тесно связан с редкими землями и U. Основным источником Th является монацитовый песок. Не меньшую ценность представляет и находящийся в его составе Ce. Торий может использоваться для получения делящегося материала, которым наряду с U^{235}, Pu^{239} является U^{233}. Этот изотоп получается по ядерной реакции

$$_{90}Th^{232}\ (n,\gamma)\ _{90}Th^{233}\ (\beta^-) \rightarrow\ _{91}Pa^{233}\ (\beta^-) \rightarrow\ _{92}U^{233}.$$

Калий (К). Среди трех природных изотопов калия только $_{19}К^{40}$ является радиоактивным с содержанием в естественной смеси 0,0119 % и периодом полураспада $T = 1{,}27 \cdot 10^9$ лет. Физико-химические свойства К резко отличаются от свойств других радиоактивных элементов. Прежде всего К распространен в природе в несравненно больших количествах. Кларк К в земной коре равен 2,4 %, высокие содержания отмечены в щелочных и кислых породах – 4,9 и 3,6 % соответственно, минимальные – в ультрабазитах – 0,03 %. Калий относится к группе щелочных металлов, имеет порядковый номер 19, атомную массу 39,1 и плотность 0,86 г/см^3.

Из наиболее распространенных К-содержащих минералов, обуславливающих повышенную радиоактивность горных пород, можно назвать сильвин ÊCl, карналлит, микроклин и ортоклаз. В глинистых минералах

значительная часть Ê находится в сорбированной форме и прочно связана с ними. Наиболее сильно Ê адсорбируется гидрослюдами.

1.5.4. Естественно-радиоактивные элементы в природе

Естественная радиоактивность горных пород обуславливается присутствием в их составе K, U и Th. Присутствие радиоактивных элементов в том или ином количестве характерно для всех горных пород – изверженных, метаморфических и осадочных, а также для современных почв и донных осадков различных водоемов.

Радиоактивность изверженных пород. В результате изучения радиоактивности изверженных пород были установлены закономерности.

Массовые доли U и Th, а соответственно и продуктов их распада, значительно выше в кислых породах, чем в основных; радиоактивность изверженных пород растет в направлении от ультрабазитов к кислым.

Радиоактивные элементы в магматических породах концентрируются в основном в цветных и акцессорных минералах: монаците, цирконе, сфене, рутиле, биотите и др. В наиболее общем случае в минералах пород гранитного ряда радиоактивность, связанная с U и Th, растет в направлении кварц $\rightarrow$ полевые шпаты $\rightarrow$ слюды $\rightarrow$ магнезиально-железистые минералы $\rightarrow$ акцессорные минералы. Особенности концентрации радиоактивных элементов обуславливают неодинаковую радиоактивность пород даже одного и того же интрузивного массива; для гранитов она обычно выше в зонах концентрации акцессорных минералов, в сравнении с участками, сложенными кварцем и полевыми шпатами альбитового ряда.

Радиоактивность метаморфических пород. Зависит, во-первых, от радиоактивности исходных пород, а во-вторых, от характера метаморфизма: происходил ли он с привносом материала, включая радиоактивные элементы, или этого привноса не было. Кроме того, при метаморфизме осадочных толщ может происходить минеральная перегруппировка внутри образований с обеднением или обогащением их ЕРЭ в отдельных участках толщи. Считается, что в результате перегруппировки U внутри пород, подвергшихся изменению, могут образовываться так называемого метаморфогенные месторождения урана. Из сказанного можно сделать выводы:

Радиоактивность метаморфических пород весьма различна не только для разных пород, но и для одной и той же толщи.

Радиоактивность гнейсов и сланцев, образовавшихся из глинистых отложений, в целом оказывается выше, чем радиоактивность мраморов и кварцитов, образовавшихся из осадков с пониженной радиоактивностью.

Радиоактивность пород растет при гидротермальном метаморфизме.

Радиоактивность осадочных пород. Среди осадочных пород наибольшей радиоактивностью отличаются калийные соли, глины и, особенно, горючие сланцы. Наименьшей радиоактивностью обладают известняки, доломиты, гипс, ангидрит, галит. Радиоактивность песчаников увеличивается с ростом содержания глинистого материала, слюд и акцессорных минералов. Резко аномальные содержания радиоактивных элементов нередко фиксируются в природных средах с развитием органических остатков.

В некоторых разностях углей, фосфоритов, песчаников и известняков содержание ЕРЭ может достигать промышленных значений. Нередко в осадочных породах повышенные концентрации U обусловлены гипергенными процессами выщелачивания и его переотложением в более благоприятных участках осадочных толщ. Замечено, что морские отложения содержат более высокие концентрации ЕРЭ, чем осадочные породы речного и озерного происхождения. Накопление ЕРЭ элементов в осадочных породах связано также с адсорбцией их тонкокластическим (глинистым) материалом из водоемов, где шло осадконакопление. Более подробные сведения о радиоактивности природных сред приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Содержания ЕРЭ и интенсивность γ-излучения природных сред

Породы, объекты	Содержание элементов				γ-поле	Парциальные доли ЕРЭ в $I\gamma$ (%)			Отношения ЕРЭ		
	Ra, мкг/т	U, г/т	Th, г/т	K, %	$I\gamma$, мкР/ч	Uγ	Thγ	Kγ	Th/U	U/K	Th/K
Земная кора (ЗК)	0,8 0,6-1,3	2,3 1,8-4,4	8,0 5-13	2,4 2,3-2,6	8,4 5-8	26 22-32	46 40-48	28 24-34	3,5 2,5-4,5	1,0 0,8-1,5	3,5 2,0-5
Гранитный слой ЗК	1,2 0,8-1,7	3,6 2,4-5,0	15,5 12-18	3,6 2,5-3,6	12,5 10-15	24 23-31	52 48-54	24 19-26	4,0 3,0-5	1,0 0,8-2,0	4,0 3,5-6
Базальтовый слой ЗК	0,3 0,2-0,5	1,0 0,6-1,5	3,3 1,8-3,8	1,0 0,7-1,2	3,5 2,0-5,0	28 22-32	44 40-48	28 24-34	3,5 3,0-4	1,0 0,8-1,5	3,5 2,0-4
Щелочные породы	1,6 0,1-30	4,7 0,3-89	18,5 5-80	4,9 3-12,5	18,0 9-130	25 20-35	49 40-55	26 23-32	4,0 1,0-8	1,0 0,9-3,0	4,0 1,5-9
Кислые породы	1,2 0,2-17	3,5 0,6-35	15,5 3-96	3,6 1,6-9,0	15,0 8-95	24 20-35	52 45-55	24 20-30	4,0 1,5-15	1,0 0,8-2,0	4,5 3-8
Средние породы	0,7 0,1-1,9	2,0 0,3-5,6	8,3 2-34	2,2 0,8-6,8	8,0 2-23	24 20-30	49 45-55	27 22-30	4,0 1,5-7	1,0 0,8-1,5	4,0 2-6
Основные породы	0,3 0-0,9	0,9 0,1-2,7	3,5 0,5-15	1,0 0,3-1,8	3,5 0,5-10	25 20-30	47 40-50	28 24-34	4,0 1,5-6	1,0 0,8-15	3,5 2,5-5
Ультра-базиты	0,01 0-0,02	0,03 0-0,06	0,1 0-0,3	0,03 0-0,2	0,1 0-2,0	27 22-32	46 40-48	27 24-34	3,5 1,0-4	1,0 0,8-1,5	3,0 2-4

Известняки	0,4 0,3-4,5	1,2 0,9-12	2,5 0,7-8	0,4 0,1-1,2	2,5 1,5-13	43 35-50	43 35-50	14 10-20	2,0 0,5-5	3,0 1,5-4	6,0 4-8
Сланцы	1,0 0,1-5,0	2,9 0,3-90	10,0 8-17	2,7 0,7-3,2	10,0 5-25	27 22-40	47 40-50	26 20-35	3,5 1,0-5	1,0 0,8-1,5	3,5 2-7
Глины	1,3 0,2-26	3,5 0,8-78	7,0 5-16	2,3 0,6-2,9	9,0 4-25	38 33-60	36 30-40	26 8-30	2,0 0,5-4	2,0 1,0-8	3,0 2-5
Песчаники	0,7 0,1-2,7	2,1 0,3-8	9,0 6-30	2,1 1,1-3,0	7,5 4,5-18	24 20-30	52 45-60	24 20-30	4,5 1,5-7	1,0 0,8-1,5	4,0 2-10
Почвы	0,8 0,2-2,5	2,1 0,3-4,5	6,0 2,5-15	1,4 0,3-3,6	6,0 1,8-15	32 25-55	46 30-50	22 10-25	3,0 1,0-4,5	1,5 1,0-6	4,0 2-6
Морские илы	2,0 0,3-15	3,2 1,0-20	4,6 1,6-8,8	1,2 0,5-2,5	6,5 3-30	48 40-65	34 25-35	18 10-25	1,5 0-3	2,7 1,5-10	4,0 3-5
Морская вода	10^{-4}	0,003	0,001	0,04	0	7	2	91	0,3	0,07	0,02

Примечания: 1. В числителе приведено среднее значение, в знаменателе - возможные отклонения; 2. Модули U/K и Th/K указаны в (г/т)/%.

Основная часть U и Th присутствует в горных породах, растениях и живых организмах в рассеянном состоянии. В благоприятных условиях эти элементы создают рудные скопления с коэффициентом концентрации от двух до четырех порядков (10^2-10^4). В первичных и вторичных ореолах урановых месторождений этот коэффициент снижается до 5-50 единиц.

Высокая геохимическая активность U является причиной большого разнообразия его природных образований, встречающихся в форме 4-валентных U^{4+} и неустойчивых 6-валентных U^{6+} соединений. Эти особенности обеспечивают возможность промышленных скоплений U в самых разнообразных геологических условиях. Месторождения U имеют разное происхождение и встречаются в кристаллическом основании фундамента, осадочном чехле древних и молодых платформ, и особенно широко – в областях послеплатформенного орогенеза. Они отличаются по вещественному и минеральному составам руд и не обнаруживают выраженной тенденции к устойчивой ассоциации с определенными типами месторождений других типов полезных ископаемых.

Все известные наиболее значительные концентрации U связаны с эндогенными и экзогенными процессами, протекающими в орогенных условиях формирования или распада коры континентального типа. В областях с корой океанического типа крупные месторождения U не обнаружены.

В 1986 г. академиком Н. П. Лаверовым была предложена генетическая систематика месторождений U, учитывающая новые данные и сохраняющая

привычные для специалистов основные подразделения. Среди них выделены четыре основные серии: эндогенная, экзогенная, метаморфогенная и полигенная. При этом схема систематики эндогенных месторождений насчитывает три типа: А – эндогенные месторождения, связанные с щелочно-ультраосновным метаморфизмом, Б – связанные со щелочным магматизмом и В – связанные с гранитоидным метаморфизмом.

Месторождения экзогенной серии разделяются на две группы: седиметационного-диагенетические и инфильтрационные (эпигенетические), образованные поверхностными и подземными водами. В первую группу входят осадочные месторождения, образованные в речных, озерно-болотных и морских условиях. Вторая группа подразделяется на три класса месторождений, образованных грунтовыми, пластовыми и трещинными подземными водами. Внутри выделяются типы экзогенных месторождений, отличающихся минеральным и вещественным составом руд, условиями их формирования и морфологией рудных тел.

Месторождения метаморфогенной серии подразделяются на две группы – метаморфизованные и ультраметаморфизованные. Группы включают несколько классов, которые в свою очередь состоят из конкретных типов месторождений.

Месторождения полигенной серии в качестве самостоятельных выделяются Лаверовым впервые. Они включают 2 группы, 3 класса и 6 типов месторождений, например полиметаллические урановые (Ni, Co, Cu, Ag).

1.6. Метрология радиационных измерений

1.6.1. Измеряемые величины и единицы измерений [48]

Физические величины, прямо или косвенно определяемые при радиационных измерениях, приведены в табл. 1.4. Это – масса и массовая доля радиоактивных веществ, активность, плотность потока ионизирующих излучений и дозовые характеристики γ-поля. Для удобства работы с литературой наряду с единицами системы СИ в табл. 1.4. приведены ранее применявшиеся единицы и их соотношения с единицами СИ.

В соответствии со стандартом СЭВ 1052-78 массу радиоактивных веществ выражают в килограммах и производных от них единицах (миллиграммах, граммах, тоннах и т. п.).

Содержание радиоактивных веществ (ГОСТ 8.505, прил. 4) – обобщающее наименование физических величин: массовой и объемной доли, массовой концентрации, которые количественно характеризуют состав горных

пород и руд. Единицами их измерений являются массовые и объемные проценты, кг/кг, кг/м^3 и др.

Единицей *активности*, характеризующей число ядерных превращений в источнике в секунду, является *беккерель* (Бк). Один беккерель соответствует активности источника, в котором происходит одно ядерное превращение в секунду. Переход от активности a (Бк) радионуклида с постоянной распада λ (с$^{-1}$) к массе M (г) осуществляется по формуле

$$a = \lambda \frac{N_A}{A} M , \qquad (1.54)$$

где N_A – число Авогадро; A – массовое число радионуклида.

Таблица 1.4

Единицы измерения радиоактивных веществ и ядерных излучений

Физическая величина	Единицы измерения		Соотношение единиц
	система СИ	внесистемные ед.	
Масса	кг	мг-экв Ra	1 мг-экв Ra = 10^{-6} кг Ra (по γ-излучению)
Активность	беккерель (Бк)	кюри (Ки)	1 Ки = $3{,}7\cdot10^{10}$ Бк 1 Бк = $2{,}7\cdot10^{-10}$ Ки
Массовая доля	кг/кг, % мас.	г/г, % мас.	1 % мас. = 0,01 кг/кг 1 кг/кг = 100 % мас.
Объемная доля	м^3/м^3, % об.	См^3/см^3, % об.	1 % об. = 0,01 м^3/м^3 1 м^3/м^3 = 100 % об.
Удельная активность	Бк/кг	Ки/г, Ки/кг	1 Ки/г = $3{,}7\cdot10^{13}$ Бк/кг 1 Бк/кг = $2{,}7\cdot10^{-14}$ Ки/г
Объемная активность	Бк/м^3	Ки/л, эман	1 Ки/л = $3{,}7\cdot10^{13}$ Бк/м^3 1 эман = 10^{-10} Ки/л 1 Бк/л = 0,27 эман
Плотность потока ядерных частиц	с$^{-1}\cdot$м$^{-2}$	с$^{-1}\cdot$см$^{-2}$	1 с$^{-1}\cdot$см$^{-2}$ = 10^4 с$^{-1}\cdot$м$^{-2}$ 1 с$^{-1}\cdot$м$^{-2}$ = 10^{-4} с$^{-1}\cdot$см$^{-2}$
Энергия	джоуль (Дж)	эВ	1 эВ = $1{,}602\cdot10^{-19}$ Дж 1 Дж = $6{,}24\cdot10^{18}$ эВ
Плотность потока энергии	Вт/м^2	эВ/(см$^2\cdot$с)	1 эВ/(см$^2\cdot$с) = $1{,}602\cdot10^{-15}$ Вт/м^2 1 Вт/м^2 = $6{,}24\cdot10^{14}$ эВ/(см$^2\cdot$с)
Экспозиционная доза излучения	Кл/кг	рентген (Р)	1 Р = $2{,}58\cdot10^{-4}$ Кл/кг 1 Кл/кг = $3{,}88\cdot10^3$ Р
Мощность экспозиционной дозы излучения	А/кг	Р/с, мкР/ч	1 Р/с = $2{,}58\cdot10^{-4}$ А/кг 1 мкР/ч = 0,0717 пА/кг

			1 пА/кг ≅ 14 мкР/ч
Поглощенная доза излучения	грей (Гр)	рад	1 рад = 0,01 Гр 1 Гр = 100 рад
Мощность поглощенной дозы излучения	Гр/с	рад/с	1 рад/с = 0,01 Гр/с 1 Гр/с = 100 рад/с
Эквивалентная поглощенная доза излучения	зиверт (Зв)	бэр	1 бэр = 0,01 Зв 1 Зв = 100 бэр

Ранее активность выражали в *кюри* (Ки), понимая под этим число ядерных превращений в секунду в 1 г Ra без его продуктов распада. В соответствии с (1,54) при M_{Ra} = 1 г активность Ra составит $3{,}7\cdot10^{10}$ Бк.

Различают *массовую* (или удельную) и *объемную* активность. В первом случае это активность вещества единичной массы (Бк/кг), во втором - вещества единичного объема (Бк/м^3). Обычно в радиометрии объемная активность выражается в Бк/л при оценке концентраций эманаций. Ранее применяли единицу измерения удельной активности – кюри на литр (Ки/л) и производную от нее – *эман*: 1 эман = 10^{-10} Ки/л.

Плотность потока частиц и квантов имеет размерность с$^{-1}$·м$^{-2}$, плотность потока энергии – Вт/м^2. Из-за сложности измерения потока энергии для количественной характеристики рентгеновского и γ-излучения на практике используют дозовые параметры. Под *дозой* понимается энергия излучения, предназначенная для передачи или переданная среде и рассчитанная на единицу массы или объема этой среды. Доза, определяемая по степени ионизации воздуха в условиях электронного равновесия, называется *экспозиционной* дозой *D*; доза, определяемая поглощенной энергией в любом другом веществе, – поглощенная доза *X*. Доза, отнесенная к единице времени, – *мощность* дозы.

Единица экспозиционной дозы – кулон на килограмм (Кл/кг). Это экспозиционная доза рентгеновского или γ-излучения, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия в одном килограмме сухого атмосферного воздуха за время *t* образует ионы, несущие заряд каждого знака, соответствующий 1 Кл. Единица *мощности экспозиционной дозы (МЭД)* – кулон на килограмм в секунду [Кл /(кг·с)] или ампер на килограмм (А /кг).

Мощность экспозиционной дозы I_D (А /кг) от полиэнергетического источника с квантовым выходом K_i и плотностью потока *i*-й линии спектра n_i (с$^{-1}$·м$^{-2}$)

$$I_D = \frac{D}{t} = \sum_{i=1}^{K} \frac{E_i n_i}{F}, \qquad (1.55)$$

где E_i - энергия i-й линии в спектре γ-излучения (эВ);

F - энергетический эквивалент (Кл /кг), равный $2{,}75 \cdot 10^{14}$ эВ.

1.6.2. Эталоны и образцовые меры [48]

В радиометрической разведке используют стандартные образцы состава ЕРЭ и их активности, а также образцовые источники плотности потока заряженных частиц и мощности дозы γ-излучения.

Стандартные образцы состава, аттестованные по массовой доле K, U и Th, изготовляют в виде порошковых препаратов для целей радиометрического анализа, а также в виде насыщенных и ненасыщенных по γ-лучам рудных моделей, используемых для градуирования γ-спектрометров.

Стандартные образцы активности Rn представляют собою водные растворы $RaCl_2$, аттестованные по массе Ra с погрешностью 1-3 % отн. Обычно это жидкие радиевые эталоны типа ЕВ-8, ЕВ-9, ЕВ-10 с массой Ra, соответственно $(100,10,1) \times 10^{-10}$ г, а также другие источники этого типа с массой Ra до $5 \cdot 10^{-6}$ г (ЕВ-65). В герметичном сосуде (после предварительного продувания), содержащем водный раствор Ra с массой M_{Ra} (г), за время t образуется Rn активностью в Бк:

$$a_{\mathrm{Rn}} = 3{,}7 \cdot 10^{10} M_{\mathrm{Ra}} \left[1 - \exp\left(-\lambda_{\mathrm{Rn}} t\right)\right], \qquad (1.56)$$

или в кюри (Ки):

$$a_{\mathrm{Rn}} = M_{\mathrm{Ra}} \left[1 - \exp\left(-\lambda_{\mathrm{Rn}} t\right)\right]. \qquad (1.57)$$

В качестве образцовых источников плотности потока α-частиц используют радиоизотопы Pu^{239}, Pu^{234}, U^{238}; β-частиц – Sr^{90} в равновесии с Y^{90}; нейтронного излучения – Pu+Be, Cf^{252} и др.

Стандартные образцы мощности дозы γ-излучения изготовляют из смеси солей $RaS\hat{I}_4$ и $BaS\hat{I}_4$ в виде ампульных источников в Pt-Ir-экране толщиной 0,5 мм или в другом кожухе, с толщиной стенок, эквивалентной по поглощающим свойствам 0,5 мм Pt. Обычно это источники типа ЕР, аттестованные по массе Ra (мг) с погрешностью 0,5-2,0 % отн. Из них наиболее удобны для использования источники $P_{1\text{-}2}$, C_{41} с массой Ra соответственно 1,0 и 0,1 мг, также ЕР-1 и ЕР-14.

Расчетная мощность дозы (пА/кг) γ-излучения источника массой M_{Ra} (мг) на расстоянии R (м) описывается соотношением

$$I_D(R) = 60{,}2\frac{M_{\text{Ra}}}{R^2}. \qquad (1.58)$$

Мощность дозы в микрорентгенах в час (мкР/ч):

$$I_D(R) = 840\frac{M_{\text{Ra}}}{R^2}. \qquad (1.59)$$

Сопоставляя между собою (1.58) и (1.59), видно, что 1 пА/кг ≅14 мкР/ч.

1.6.3. Средства измерения и их метрология

В качестве средств измерения в радиометрической разведке используют радиометры, эманометры, γ-спектрометры разного назначения (табл. 1.5). Измерения этими приборами физических величин относятся к разделу косвенных. Для перехода к их действительным значениям выполняют градуирование аппаратуры с помощью эталонов и образцовых мер.

При измерениях часто говорят о *пороге чувствительности*, под которым принято понимать наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть обнаружено прибором в превышении над флуктуацией фонового излучения с заданной доверительной вероятностью.

Значение порога чувствительности L оценивают по формуле

$$L = k\sigma_{\text{ф}}, \qquad (1.60)$$

где $\sigma_{\text{ф}}$ - среднеквадратическое отклонение измеряемых значений фона;

k - коэффициент, соответствующий значению доверительной вероятности (обычно $k = 3$).

1.6.4. Погрешности измерений

Разность Δ между результатом измерения x и истинным значением x_0 измеряемой величины называется *погрешностью измерений*:

$\Delta = x - x_0$.

По своей структуре погрешности измерений подразделяются на систематические, случайные, грубые, аппаратурные, методические, абсолютные и относительные.

Систематическая погрешность представляет собою составляющую погрешности Δ, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность – это составляющая погрешности Δ, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях.

Грубая погрешность – отклонение измеряемой величины от истинной вследствие грубого нарушения методики измерений оператором или следствие неисправности аппаратуры.

Таблица 1.5

Радиометрическая аппаратура и ее характеристики

Прибор	Область применения	М, кг	Питание	Детектор	Регистратор	Порог чувст-вительности	Верхний предел регистрации
СРП-68-01, радиометр	Пешеходная γ-съемка	3,6	А-343 (9 шт.)	NaI(Tl) 30×25 ФЭУ-85	Стрелочный, телефон	0,07 при фоне 0,35 пА/кг	215 пА/кг
СРП-88Н, радиометр	Пешеходная γ-съемка	2,2	А-343 (4 шт.)	NaI(Tl) 25×40 ФЭУ-85	Цифровой индикатор	0,1 пА/кг	600 пА/кг
СРП-88Н1, радиометр	Шпуровая γ-съемка	4,1	А-343 (4 шт.)	NaI(Tl) 10×40 ФЭУ-60	Цифровой индикатор	0,2 пА/кг	600 пА/кг
СП-4, переносной γ-спектрометр	Пешеходная γ-съемка	6,8	Рубин (5 шт.)	NaI(Tl) 80×80 ФЭУ-110	Стрелочный, цифровой	U, Th – 1 г/т; K – 0,2 %	U, Th – 0,03 %; K – 25 %
РКП-305, «Карат», концентрометр	Пешеходная и шпуровая γ-съемка	9,2	А-343 (9 шт.)	NaI(Tl) 80×80 ФЭУ-110	Цифровая индикация U, Th, K	U, Th – 0,4 г/т; K – 0,1 %	U, Th – 0,05 %; K – 50 %
СКАТ-77, комплексная аэрогеофизическая станция	γ-спектрометр, магнитная, электрическая аэросъемка	430	Бортовая сеть 27 В	NaI(Tl) 200×100 (2-12 шт.) ФЭУ-110	Аналоговый, цифровой магнитный (РУМС-2000)	U – 0,2 г/т; Th – 0,5 г/т; K – 0,05 %	U – 0,025 %; Th – 0,1 %; K – 32 %
РСС-006, скважинный γ-спектрометр	γ-спектрометр. каротаж	20	11-16 В; 5 Вт	CsI(Tl) 25×80 ФЭУ-67Б	Цифро-аналоговый	U, Th – 5 г/т; K – 1 %	U, Th – 3 %; K – 50 %
«Гамма-01С», лабораторный γ-спектрометрический комплекс	Измерения и обработка спектров γ-излучения	20, 320 Pb	Сеть ~220 В	NaI(Tl) 75×40, энергетич. разрешение – 8 % (662 кэВ)	Встроенный в ПЭВМ АЦП с ПГ обеспечением	0,03 пА/кг	2000 пА/кг
РГА-01, «Глициния», α-радиометр, эманометр	Эманационная съемка	9	Марс-373 (6 шт.)	ZnS(Ag), пластмасса	Цифровое табло	0,3 Бк/л	10^5 Бк/л

Абсолютная погрешность – это погрешность измерений Δ, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность δ – это абсолютная погрешность в нормировке к истинному значению измеряемой величины, выраженная в %:

$$\delta = \frac{x - x_0}{x_0} 100\,\%.$$

Основным параметром, характеризующим рассеяние измеряемой величины, является среднеквадратическое отклонение результата измерений:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - x_0\right)^2}. \qquad (1.61)$$

Поскольку в эксперименте вместо истинного (заранее неизвестного) значения x_0 используют среднее арифметическое из n измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \qquad (1.62)$$

то параметр рассеяния многократно измеряемой величины

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}, \qquad (1.63)$$

а параметр рассеяния среднего арифметического значения

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}. \qquad (1.64)$$

В метрологии, кроме того, существуют понятия точности, правильности, сходимости и воспроизводимости измерений (ГОСТ 16263-70).

Точность отражает близость результатов измерений к истинному значению измеряемой величины.

Правильность – качество измерений, отражающее близость к нулю систематической погрешности.

Сходимость – близость друг к другу результатов повторных измерений в одинаковых условиях.

Воспроизводимость – близость друг к другу результатов измерений в различных условиях (в разное время, в различных местах, разными методами и средствами).

1.6.5. Корреляционный анализ в радиометрии

В практике геологоразведочных работ нередко приходится иметь дело со статистическими связями между сопоставляемыми величинами, когда каждому

значению некоторой величины x соответствует статистический ряд значений y, и наоборот. Типичным примером статистической связи может служить зависимость между содержанием радиоактивных и нерадиоактивных элементов в некоторых рудах. Выявление и изучение таких связей выполняется с помощью корреляционного анализа.

В зависимости от типа связи различают *линейную* корреляционную связь, когда зависимость между связанными друг с другом величинами выражается линейным уравнением вида

$$y = ax + b, \tag{1.65}$$

и нелинейные статистические связи, когда зависимость между переменными выражается уравнением степени выше первой. Уравнение (1.65) носит название уравнения линейной регрессии y на x.

Допустим, что в результате измерений получен набор точек, через которые требуется провести прямую линию и записать (1.65) с учетом численных значений коэффициентов a и b. Прямую обычно пытаются провести таким образом, чтобы точки на плоскости распределялись по возможности одинаково по обе стороны от проведенной прямой. Для этого необходимо подобрать коэффициенты a и b (и следовательно, построить прямую) с наименьшим среднеквадратичным отклонением от экспериментальных точек, что и осуществляется в *методе наименьших квадратов*.

Построение прямой линейной регрессии разбивается на этапы:

1. Составление перечня (таблицы) всех экспериментальных точек.

2. Вычисление величин Σx, Σy, Σx^2, Σy^2, $\Sigma(xy)$.

3. Вычисление коэффициентов a и b по формулам:

$$a = \frac{\sum(xy) - \frac{1}{n}\sum x \sum y}{\sum x^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}, \tag{1.66}$$

$$b = \frac{\sum y}{n} - a\frac{\sum x}{n} = \bar{y} - a\bar{x}, \tag{1.67}$$

где символ верхней черты означает среднее значение.

4. Вычисление коэффициента корреляции выполняется по формуле:

$$r = \left\{ \frac{\left[\sum(xy) - \frac{1}{n}\sum x \sum y\right]^2}{\left[\sum x^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2\right]\left[\sum y^2 - \frac{1}{n}\left(\sum y\right)^2\right]} \right\}^{1/2}. \tag{1.68}$$

В табл. 1.6 показан пример обработки результатов наблюдений, вычисления a, b и коэффициента корреляции r по пяти точкам.

Таблица 1.6

Результаты статистической обработки результатов наблюдений

i	x	y	x^2	y^2	xy
1	5,0	13,7	25,0	187,7	68,5
2	7,2	18,8	51,8	353,4	135,4
3	11,3	26,4	127,7	697,0	298,3
4	23,8	53,1	566,4	2819,6	1263,8
5	45,4	98,2	2061,2	9643,2	4458,3
$n = 5$	$\Sigma x = 92{,}7$	$\Sigma y = 210{,}2$	$\Sigma x^2 = 2832{,}1$	$\Sigma x^2 = 13700{,}9$	$\Sigma(xy) = 6224{,}3$

Подставив полученные значения в формулы (1.66) - (1.68), получим параметры уравнения регрессии для нашего примера: $y = 2{,}1x + 3{,}1$ при коэффициенте корреляции $r \cong 1$, что указывает на тесную линейную связь между переменными y и x.

Экспоненциальная функция – пример нелинейного вида связи переменных y и x, которую тем не менее можно *линеаризировать*, т. е. после специальных математических преобразований представить в виде линейного уравнения. Вычислим коэффициенты регрессии для уравнения

$$y = be^{ax}. \tag{1.69}$$

Логарифмируя (1.69), имеем: $\ln y = ax + \ln b$; тогда:

$$a = \frac{\sum(x \ln y) - \frac{1}{n}\sum x \sum \ln y}{\sum x^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2}, \tag{1.70}$$

$$b = \exp\left[\frac{\sum \ln y}{n} - a\frac{\sum x}{n}\right]. \tag{1.71}$$

1.6.6. Статистический способ получения уравнения линейной регрессии

Выше был рассмотрен случай установления функциональной зависимости между линейно-связанными величинами y и x на основе так называемого *совместных* измерений. На практике нередко приходится иметь дело с результатами *несовместных* измерений, когда сопоставляемые величины

регистрируются автономно. В этом случае оказывается невозможным получить координатную $x_1, y_1; \ldots x_n, y_n$ функцию и ее графическое представление.

Для установления аналитической зависимости в случае несовместных измерений возможно применение способа, основанного на использовании главных параметров (кривых) распределения сопоставляемых величин x и y – средних значений $\bar{x}$, $\bar{y}$ (или модальных для кривых) и стандартных отклонений σ_x, σ_y. Сущность этого способа заключается в следующем [14].

Допустим, что между сопоставляемыми величинами x и y существует линейная зависимость (1.65). Если при этом известны средние значения $\bar{x}$, $\bar{y}$ и стандартные отклонения σ_x, σ_y, то оказывается, что коэффициенты a и b в (1.65) могут быть найдены следующим образом.

Из теории вероятности и математической статистики известны свойства математического ожидания M (среднего значения) и дисперсии D:

$\bar{y} = \mathrm{M}(ax+b) = a\mathrm{M}(x)+b = a\bar{x}+b$;

$\mathrm{D}(y) = \mathrm{D}(ax+b) = a^2\mathrm{D}(x)$, откуда:

$$a^2 = \mathrm{D}(y)/\mathrm{D}(x). \qquad (1.72)$$

Учитывая, что $\sigma = \pm\sqrt{D}$, имеем:

$$\begin{cases} \bar{y} = a\bar{x} + b \\ a = \sigma_y / \sigma_x \end{cases} \qquad (1.73)$$

Из (1.73) можно найти коэффициент b:

$$b = \bar{y} - \bar{x}\sigma_y / \sigma_x . \qquad (1.74)$$

Подставляя выражения для коэффициентов a и b в (1.65), получим следующую формулу для линейной функции $y(x)$ применительно к случаю несовместных измерений:

$$y_i = \left(x_i - \bar{x} + \bar{y}\frac{\sigma_x}{\sigma_y} \right)\frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \qquad (1.75)$$

Расчет величин $\bar{x}$, $\bar{y}$, σ_x, σ_y выполняется на основе рядовых измерений сопоставляемых величин по формулам (1.62) и (1.63).

Обозначим через Δy и Δx разности $y_i - \bar{y}$ и $x_i - \bar{x}$ соответственно. Тогда, имея в виду (1.75), получим следующее выражение, которое можно использовать для оценки чувствительности метода в случае несовместных измерений:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \qquad (1.76)$$

Следует подчеркнуть, что в случае несовместных измерений оказывается принципиально невозможным нахождение коэффициента корреляции между

величинами y и x. Также имеется неоднозначность в выборе знака для коэффициента a (вследствие $\sigma = \pm\sqrt{D}$). Следовательно, этот метод не позволяет получить информацию о *тесноте* связи y и x и может давать неоднозначные предсказания значений одной величины по другой. Данный способ нахождения коэффициентов регрессии (1.65) можно рекомендовать лишь в том случае, когда априорно (заранее) известно:

- между x и y связь *существует*;
- связь *линейная*;
- можно установить *вид связи* – прямая или обратная пропорциональность ($a > 0$ или $a < 0$ соответственно).

Как правило, для выполнения этих двух условий необходимо и достаточно провести несколько совместных измерений (наблюдений) величин x_i и y_i. Количество измерений выбирают из соображений статистической значимости получаемых результатов. Например, для ответа на вопрос о существовании тесной линейной связи ($r > 0{,}9$) достаточно выполнить 5-7 измерений, а установление наличия слабой нелинейной связи потребует, как минимум, 30-40 измерений.

Рассмотренный метод очень удобен для градуирования геофизической аппаратуры (особенно нескольких приборов и в разное время), когда между аппаратурным параметром и измеряемой величиной существует линейная связь. В этом случае стандартным способом достаточно выполнить градуировку лишь одного прибора, а градуировку остальных выполнить с использованием формул (1.75) – (1.76).

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Проректор
комплексу

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация

Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

форма обучения: **очная, заочная**

Автор: Вандышева К. В., к.г.-м.н.

Одобрена на заседании кафедры

Геофизики
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 01.09.2022
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

Геологии и геофизики
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Бондарев В.И.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 13.09.2022
(Дата)

Екатеринбург
2022

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»

Для выполнения контрольной работы необходимо проработать рекомендуемую литературу по геологическому строению района проектируемых работ, физическим свойствам горных пород и руд построить физико-геологическую модель объекта исследований.

ВВЕДЕНИЕ

Во введении должна быть дана четкая формулировка задания: местоположение участка работ (административная, географическая и геологическая привязка), цель, задачи для составления физико-геологической модели исследования.

1. ГЕОГРАФО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА РАБОТ

Указывается административное положение района работ. Приводится краткая характеристика рельефа, климата, растительного и животного мира, населенности и путей сообщения, возможности найма рабочей силы на месте или их найма в другом районе. Приводится обзорная карта района работ. Этот раздел составляется по литературным источникам.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Указывается геолого-структурное положение района работ.

Данный раздел содержит подразделы: “Стратиграфия”, “Магматизм”, “Тектоника”, “Геоморфология и гидрогеология”, “Полезные ископаемые”. В них приводятся краткие сведения по стратиграфии с указанием состава пород и их мощности, сведения об интрузивных образованиях, тектонике. Подробно описываются рудовмещающие комплексы, гидротермальные и метасоматические процессы, отмечаются рудоконтролирующие факторы. Особо отмечаются процессы метаморфизма, которые обусловливают изменение физических свойств горных пород.

В подразделе «Полезные ископаемые» приводится характеристика месторождений и рудопроявлений всех полезных ископаемых, встреченных в данном районе работ, отмечается их приуроченность к определенным комплексам пород, структурно-тектоническим и металлогеническим зонам. Выделяются полезные ископаемые, на которые площадь проектируемых работ является наиболее перспективной, и более подробно описываются месторождения, типичные для этого полезного ископаемого.

Необходимо уделить особое внимание анализу поверхностных рыхлых отложений, поскольку они могут иметь переменную мощность, неоднородны по составу и часто вносят существенные искажения в геофизические поля.

Текст необходимо иллюстрировать обзорной картой. На карте следует указать положение участка работ. Так же в данной главе необходимо привести один геологической разрез, который берется за основу составления Физико-геологической модели исследования.

3. ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

На основании геологических/геофизических отчетов прошлых лет, основываясь на справочные материалы дается характеристика по физическим свойствам горных пород.

Составляется упрошенная модель петрофизического разреза объекта исследований.

Физические свойства горных пород и полезных ископаемых района лучше описывать по их генетическим группам (осадочные, вулканогенно-осадочные, магматические и т. п.) Обязательно указываются источники, по которым приводятся данные по физическим свойствам, способы определения, представительность. Эти данные обычно приводят в виде таблицы. Если есть возможность, надо построить гистограммы или вариационные кривые и выполнить статистическую обработку. Наиболее наглядное представление о физических свойствах горных пород и полезных ископаемых дает диаграмма, которую надо обязательно построить. Для ее построения строится колонка, в которую включаются все горные породы района, и около нее – графики всех физических свойств.

Наличие различия физических свойств объекта и вмещающей среды еще не гарантирует возможности его обнаружения соответствующим геофизическим методом. Важное значение имеют и его геометрические параметры – форма, глубина от поверхности, элементы залегания, наличие мешающих геологических факторов (мощный слой приповерхностных рыхлых отложений, экраны из пород высокого сопротивления и т. д.). Поэтому для получения представления о возможностях геофизических методов необходимо дать комплексную **геолого-геофизическую характеристику объектов поисков**, включая их геометрические параметры, физические свойства и возможное влияние геологических помех.

4. ФИЗИКО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной главе должна быть построена **физико-геологическая модель объекта поисков** и для нее выполнено решение прямой задачи. Для оценки глубинности методов в условиях района прямую задачу следует решить для нескольких положений эрозионного среза. Для характеристики возможностей методов хорошо также привести результаты наблюдений над реальными объектами. Желательно также построить физико-геологические модели для объектов, которые будут затруднять интерпретацию результатов (вызывать искажения, похожие на аномалии от объектов поисков или, маскировать их).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом контрольной работы являются выводы о возможностях каждого геофизического метода

ЛИТЕРАТУРА

В данной главе описывается список использованной литературы при выполнении работы.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОЗМОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Модель месторождений железа
2. Модель месторождений алмазов
3. Модель месторождений золота
4. Модель месторождений серебра

5. Модель месторождений медно-колчеданных руд
6. Модель месторождений каменного угля
7. Модель месторождений мезозойских бокситов
8. Модель месторождений огнеупорных глин
9. Модель месторождений кварцевых песков
10. Модель месторождений россыпного золота
11. Модель месторождений диатомитов
12. Модель месторождений мергелей
13. Модель месторождений глауконитов
14. Модель железорудных месторождений алапаевского типа месторождений
15. Объемные модели сложных геологических обстановок

ОСОБЫЕ УКАЗАНИЯ

По мере написания контрольной работы расставляются ссылки на литературу (в квадратных скобках в конце цитируемого текста [1], что соответствует номеру в списке литературы)

В конце каждой главы должна быть дана самостоятельная оценка приведенной в главе информации.

В работе обязательно излагается цель проекта, задачи (введение), описывается теория, приведена характеристика, рассматриваются примеры, если нужно приводится сравнительная характеристика, излагается самостоятельный анализ материала, сделаны выводы (заключение)

Работа выполняется шрифтом Times New Roman (12 ил 14) отступы с каждой стороны по 2 см, 1 см на “красную строку”.

Рисунки располагаются после упоминания в тексте (рис.1):



Рис.1. Название рисунка

Таблицы располагаются после упоминания в тексте (табл.2)

Таблица 2

Название таблицы

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»



В. М. Сапожников

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Учебное пособие
по дисциплине «Физико-геологическое моделирование»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ:

Одобрена на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 8 от 17.04.2019 г.
(Дата)

Екатеринбург – 2019

Введение

Представленный курс лекций в основном ориентирован на изложение методик выявления и изучения месторождений твердых полезных ископаемых. Именно эти объекты являются главными для специальности 21.05.03 Технология геологической разведки.

1. НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ. НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

При проведении геофизических работ приходиться оперировать понятиями нормального поля и геофизической аномалии. И хотя способы их определения в различных методах могут существенно различаться, основные принципы в этих способах являются общими. Это связано с тем, что задачей геофизических исследований является выявление и классификация неоднородностей в геологической среде.

Нормальное поле

Это такое физическое поле условно однородной геологической среды, которое существовало бы в случае отсутствия объектов, нарушающих однородность этой среды. Например, за нормальное в гравиразведке принимают поле силы тяжести условно однородного сфероида Земли, поверхность которого совпадает с уровнем океанов. Это поле определяют исходя из координат точки наблюдения по широте и долготе с учетом значения поля на экваторе. Для уточнения в это поле вносят поправку Буге, учитывающую влияние толщины и плотности промежуточного (между точкой наблюдения и уровнем океана) слоя.

В магниторазведке также рассчитаны карты нормального поля Земли, которое на ограниченной площади принимают за постоянное значение. Его определяют в соответствии с географическим положением этой площади на материке или в море. В методе радиоволнового просвечивания (РВП) нормальное электромагнитное поле вычисляют с учетом паспортной для передатчика начальной напряженности, геометрии (взаимного расположения элементов) установки и коэффициента поглощения поля ($\alpha_к$) условно однородной среды (рис. 2).

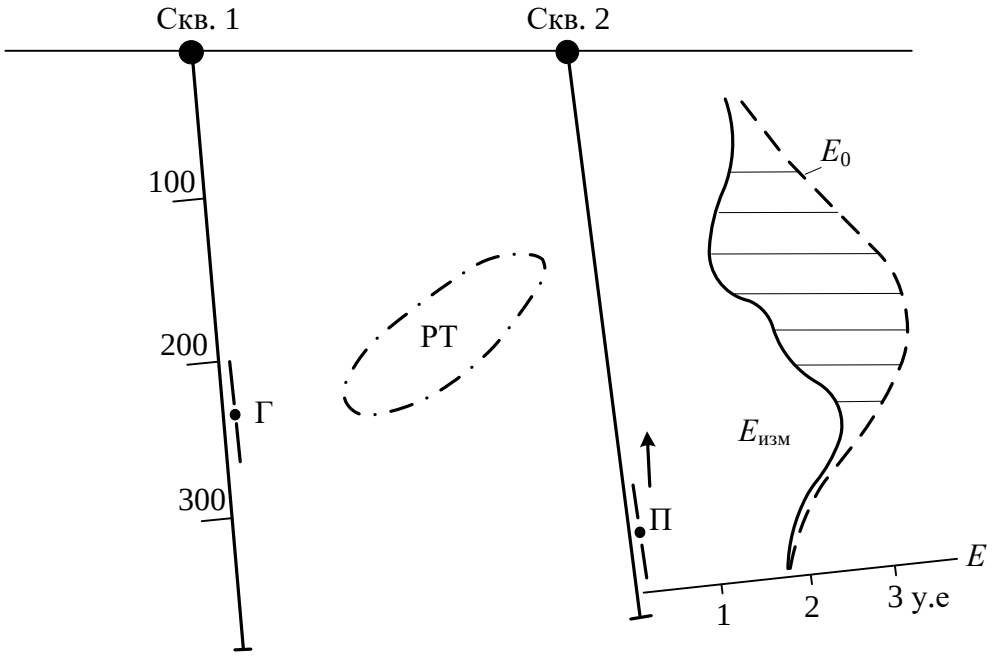


Рис. 2. Пример сопоставления напряженности измеренного ($E_{изм}$) и вычисленного нормального (E_0) поля в методе радиоволнового просвечивания

Г – генераторная антенна; П – приемная антенна; РТ – рудное тело

Похожий подход к определению нормального поля применяют в методе заряда, выражая это поле в виде функции от расстояния точки наблюдения до эпицентра погруженного источника тока. Эту функцию рассчитывают аналитически или определяют стохастическим способом по измеренному полю [13].

В методах, изучающих искусственно возбуждаемые поля, в качестве нормального иногда принимают некоторые обоснованные постоянные значения поля или в виде некоторого диапазона значений с верхним и нижним пределами.

В общем случае нормальным считается поле, обусловленное однородной по конкретному физическому параметру геологической средой. В некоторых случаях условно однородная среда может представлять какую-то структуру, например, горизонтально-слоистое полупространство, измеряемая характеристика поля над которым остается постоянной или изменяется по установленному закону. Принимаемая однородность среды зависит от масштаба исследований. При средне- и крупномасштабных съемках используют понятие о местном нормальном поле, отражающем стохастический подход к его определению.

Стохастический способ определения нормального поля

В методах, изучающих на ограниченной площади естественные физические поля или искусственно возбуждаемые поля при постоянном размере установки (магниторазведка, радиометрия, электропрофилирование и др.), в качестве фона (местного нормального поля) принимают некоторые постоянные значения, характерные для условно однородной геологической среды, которая рассматривается в качестве фонового объекта. Это может быть массив горных пород, горизонтально-слоистая толща или другая структура, характеристики поля для которой по показаниям применяемой установки в идеале должны сохраняться постоянными.

В реальной геологической обстановке в случае наличия такой структуры на результаты геофизических наблюдений влияет масса случайных факторов: мелкая неоднородность физических свойств фонового объекта, изменения геометрии его элементов, рельеф местности и т.п. В этих условиях перспективно использовать стохастический (вероятностно-статистический) подход к определению фона.

Простейшим примером служит статистическое определение коэффициента поглощения в методе РВП, который определяется по нескольким значениям, вычисленным на участках трассы измерений, не имеющих признаков экранирования поля генератора проводниками в межскважинном пространстве. Этот коэффициент для изучаемого разреза принимается как постоянная величина и используется при вычислении нормального поля.

Профильная съемка. В более общем случае, как это показано на рис. 3, *а* на примере профилирования методом вызванной поляризации (ВП) с установкой постоянного размера, исходными являются данные измерений на участке, для которого имеются основания отнести поле на нем к условному фону. Как видно из рис. 3, *а*, значения кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) на профиле изменяются в определенных пределах. Для объективного отражения изменчивости поля строится дифференциальная кривая распределения анализируемой характеристики с учетом закона, принимаемого для статистически однородной совокупности этой характеристики. В случае $\eta_к$ распределение хорошо описывается нормальным законом Гаусса. Построение распределения ведется с применением линейной шкалы с разбивкой диапазона измеренных значений на равные интервалы (классы). Ось ординат отражает частость появления при измерениях значений поля

для каждого из классов (соответствует середине класса) и принимается в штуках или процентах (рис. 3, *б*). Для характеристики фона желательно иметь не менее 30 измерений.

При ограниченном объеме выборки для построения детальной кривой распределения в статистике применяют прием, предусматривающий использование второй шкалы значений поля. Ширина классов остается прежней, но их границы смещаются относительно первой шкалы на половину класса. Использование дополнительной шкалы позволяет в 2 раза увеличить число точек, по которым строится распределение, не уменьшая ширину класса.

Значение поля А, встречающееся с максимальной частотостью (мода), которое при нормальном законе распределения совпадает со средним и медианой, принимают в качестве центрального значения – $\bar{A}_0$ (в рассматриваемом примере изучения поляризуемости $\overline{\eta}_{к0}$=2.5 %).

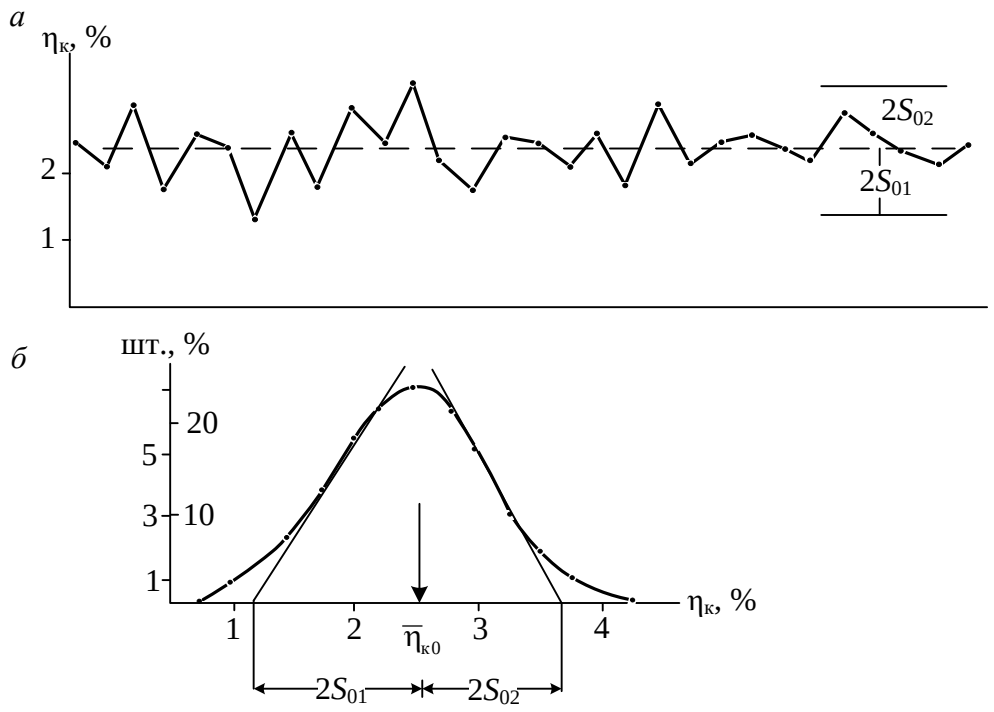


Рис. 3. Графики измеренных значений кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) методом ВП по профилю в пределах фонового объекта (*а*) и дифференциальная кривая распределения значений $\eta_к$ для этого профиля, по которой определяются стохастические характеристики фона (*б*)

Для характеристики рассеивания значений относительно центрального используют среднеквадратичное отклонение – S_0. В теории вероятности ему соответствует стандартное отклонение (стандарт). Для его определения к ветвям кривой распределения проводятся две наклонных касательных (рис. 3, *б*). Согласно теории точки пересечения касательных с осью абсцисс смещены от центрального значения на величины $\pm 2S_0$, а расстояние между точками пересечения равно $4S_0$. В рассматриваемом примере S_0=0,63 %.

При упрощенном способе искомые характеристики определяют графически по графикам измеренного поля на фоновом объекте. Осредняющая график прямая соответствует значению $\bar{A}_0$, а величина S_0 определяется по диапазону изменения фона, который приблизительно равен $4S_0$. На рис. 3, *а* этот диапазон отмечен ограничивающими линиями (в правой части рисунка).

Статистические характеристики нормального поля с распределением по закону Гаусса могут быть вычислены и аналитическим путем. Центральное значение вычисляется как среднее для n рядовых (i) измерений: $\bar{A}_0 = \Sigma A_{0i}/n$, а величина S_0 определяется по формуле

$$S_0 = \left[\sum_{i=1}^{n} (A_{0i} - \overline{A}_0)^2 / n \right]^{1/2} \qquad (1)$$

По результатам оценки статистических характеристик нормального поля его диапазон с надежностью 95 % принимают равным:

$$A_0 = \bar{A}_0 \pm 2\, S_0. \qquad (2)$$

Очевидно, что все величины поля, попадающие в этот диапазон, могут рассматриваться как значения фона. По результатам измерений, приводимых на рис. 3, значения в интервале 1.24-3.74 относятся к фоновым характеристикам поля.

При известной величине S_0 к аномалным с надежностью 95 % относятся значения поля, отвечающие условиям: меньше ($\bar{A}_0$-$2S_0$) или больше ($\bar{A}_0$+$2S_0$).

Метод заряда. Исходными данными являются значения относительного потенциала, измеренные по некоторой сети, причем для нее известны координаты точек наблюдения, позволяющие определить расстояние от каждой точки до эпицентра заряда. В примере (рис. 4), иллюстрирующем применение способа, результаты съемки поля за-

ряда в рудное пересечение скважины 1 представлены в виде плана изолиний потенциала.

Наиболее распространенной моделью вмещающей среды в этом методе является однородное изотропное или горизонтально-слоистое полупространство. Для реализации способа определения нормального поля на планшете съемки намечаются 6-8 радиальных профилей с началом в эпицентре заряда О. На одном чертеже строят графики измеренного потенциала (U) для этих радиальных профилей как функции расстояния (r) от точки О и проводят осредняющую их кривую $U_{ср}$. Кривая $U_{ср}$ и рассматривается в качестве функции нормального потенциала $U_0(r)$. Естественно эту процедуру можно выполнить аналитически по простейшей программе осреднения.

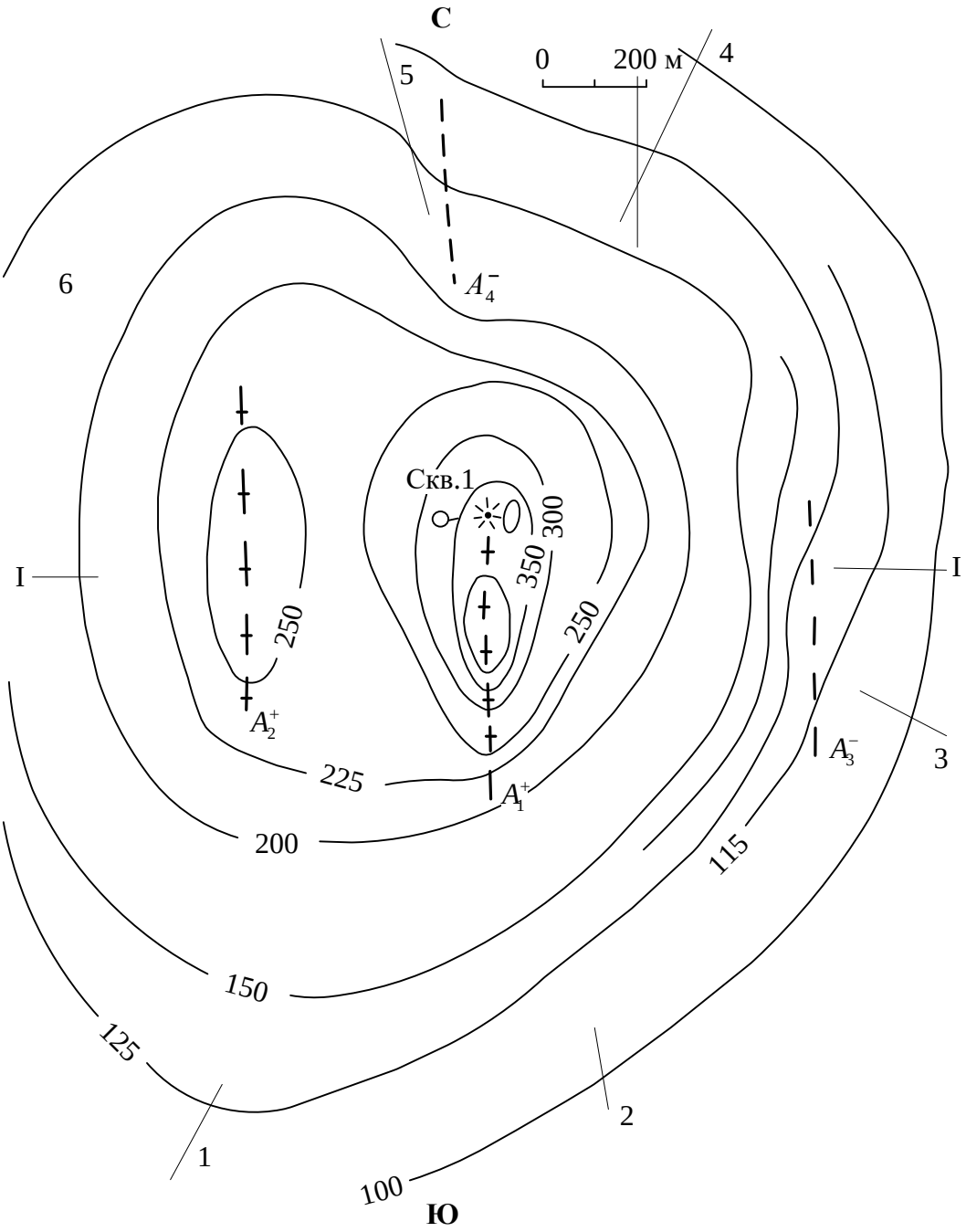


Рис. 4. План изолиний потенциала (в мВ) поля заряда, сделанного в рудное пересечение скв.1:

A^+, A^- - оси положительных и отрицательных аномалий, 1-6 – радиальные профили, *О* – эпицентр заряда; I – I – линия геологического разреза

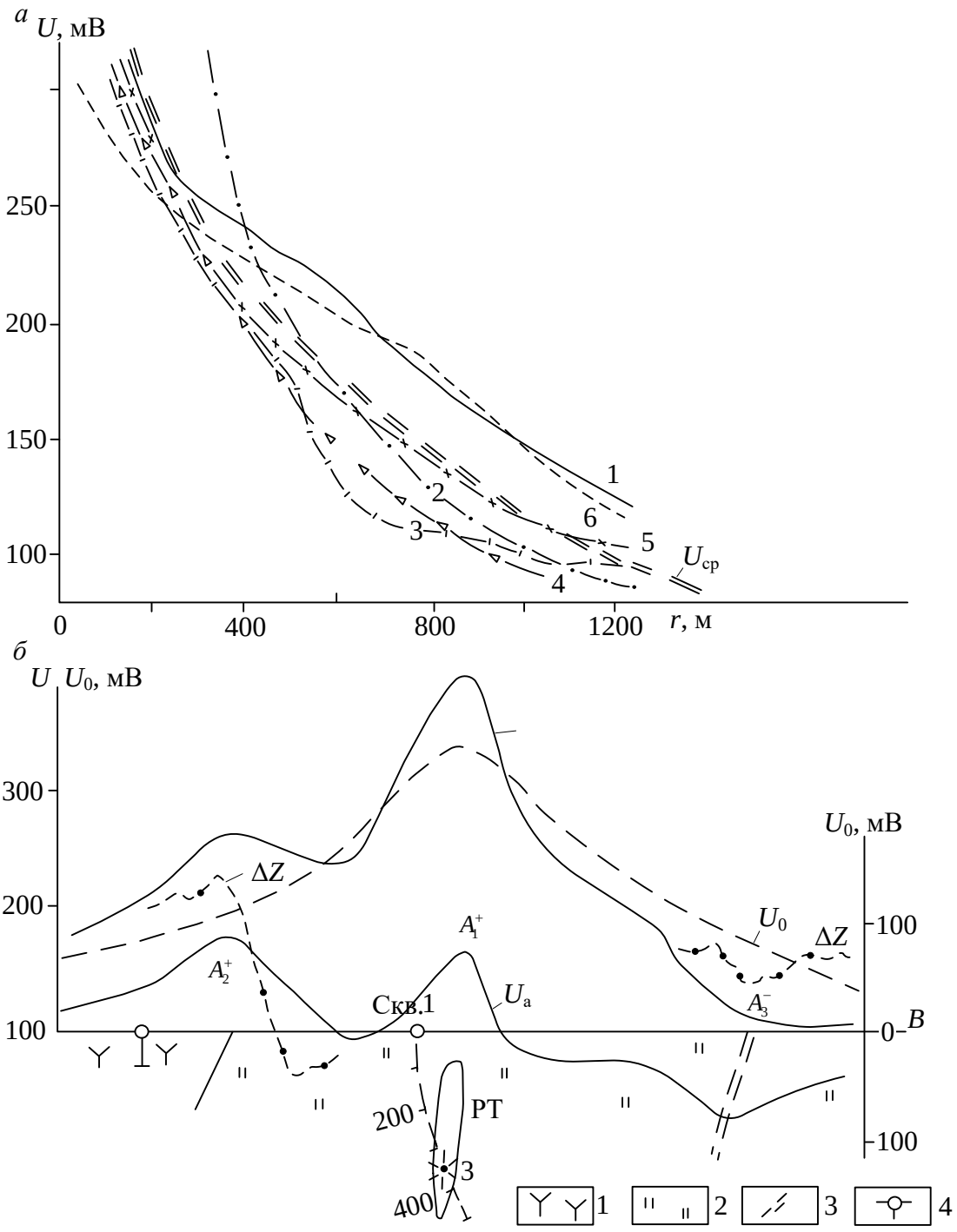


Рис. 5. Результаты обработки и интерпретации поля заряда в скважину 1 (исходные данные на рис. 4):

а – графики потенциала по системе радиальных профилей и осредняющая их кривая ($U_{ср} = U_0(r)$); *б* – графики измеренного, нормального и аномального потенциала (U, U_0, U_a), фрагменты измерений магнитного поля (ΔZ) и геологический разрез по профилю I–I.

1 – субвулканические липарито-дациты; 2 – гидротермально измененные породы; 3 – разрывные нарушения; 4 – скважины; З – заряд; РТ – рудное тело (проекция на плоскость разреза)

В случае наличия признаков проявления анизотропной вмещающей среды стахастический способ определения нормального потенциала в методе заряда применяют с учетом схемы перехода от анизотропной к изотропной среде [13].

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный потенциал по профилю. Пример определения в методе заряда по плану изолиний (рис. 4) нормального потенциала по одному из поперечных профилей показан на рис. 5, *а*.

Геофизические аномалии

Геофизическая аномалия характеризует отклонение физического поля от его нормальных значений. По геофизическим аномалиям изучают неоднородности геологической среды различного масштаба, что позволяет получить представление о самой структуре земных недр. В общем случае, при анализе результатов геофизических измерений в качестве аномальной составляющей рассматривают величину разности между измеренным значением поля в *i*-ой точке (A_i) и местным нормальным полем (A_0): $A_{ai} = \Delta A_i = A_i - A_0$. Нормальное поле может быть постоянным или плавно меняющимся, задаваться некоторыми средними величинами или, при учете его дисперсии, в виде предельных значений. В общем случае к аномальным относятся значения, превышающие верхний предел нормального поля или оказывающиеся ниже его нижнего предела. В первом случае наблюдается положительная аномалия, а во втором случае отрицательная аномалия.

Например, на рис. 2 аномальная составляющая изображена заштрихованной областью и отражает появление отрицательной аномалии, связанной с экранным влиянием сульфидного рудного тела.

В качестве примера определения аномальной составляющей изучаемого поля могут служить результаты, полученные при обработке и интерпретации данных метода заряда, приводимые на рис. 4 и 5. Данные о распределении нормального потенциала $U_0(r)$ используются для выделения в рядовой точке аномальной составляющей U_a измеренного потенциала U, равной

$$U_a = U - U_0(r). \qquad (3)$$

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный, а

затем и аномальный потенциал по профилю. Результаты подобных вычислений нормального потенциала, сопоставления его с измеренным полем и график аномального потенциала по одному из поперечных профилей с элементами геологической интерпретации показан на рис. 5, *б*.

В рассматриваемом примере аномалия A^{+}_{1} связана с приподнятой относительно заряда частью заряженного рудного тела, имеющего северное склонение. Другая положительная аномалия A^{+}_{2} обусловлена контактом гидротермально измененных пород, вмещающих заряженное тело, с менее электропроводной субинтрузией. Отрицательные аномалии фиксируют субвертикальные плоскости разрывных нарушений относительно повышенной электропроводности.

Безразмерные характеристики геофизических аномалий. В ряде случаев для характеристики аномального объекта целесообразно использовать нормирование аномалий относительно каких-то стандартных величин, при котором учитывается уровень фона, снижается зависимость от точности измерений, типа измеряемой аппаратуры, условий наблюдений, вида изучаемого поля. Появляется возможность сопоставлять аномальные эффекты, зафиксированные от одного и того же объекта различными методами или одним методом, но с применением различных технологий, и в других случаях.

В промысловой геофизике при оценке аномалий широко применяется двойной разностный параметр α. Он представляет отношение

$$\alpha = \Delta A_i / \Delta A_э = (A_i - A_0)/(A_э - A_0), \qquad (5)$$

где ΔA_i – аномалия на рядовом объекте, $\Delta A_э$ – максимальная аномалия на объекте принятом за эталон (может быть и любым объектом с которым производится сравнение). Например, при проведении измерений поля ПС в скважине на изучаемом пласте-коллекторе потенциал равен 20 мВ, на пласте с самыми высокими фильтрационно-емкостными свойствами потенциал равен 10 мВ, на глинах, рассматриваемых в качестве фона, зафиксированы значения 60 мВ. Следовательно, для изучаемого пласта имеем $\alpha_{ПС}$ = -40 / -50 = 0,8.

Применение безразмерного двойного разностного параметра удобно для установления корреляционной зависимости $\alpha_{ПС}$ от некоторых промысловых параметров, например, от коэффициента пористости $К_п$, определенного по данным лабораторных исследований, Подобные зависимости часто имеют достаточно универсальное значение и широко используются на производстве.

При геофизических поисковых и разведочных работах на твердые полезные ископаемые для характеристики аномальности *i*-го объекта при применении *j*-го метода используется показатель контрастности γ_{ij}, равный [1]:

$$\gamma_{ij} = \Delta A_i / S_0. \quad (6)$$

В этом параметре учитывается не только аномальность поля относительно уровня фона, но и дисперсия самого фона. Показатель контрастности удобен для сравнения эффективности методов при оценке их конкурентности, а также для вычисления аномальности объекта в случае применения комплекса методов. Для успешного применения метода необходимо условие $\gamma_i > |2|$.

Использование безразмерных величин γ_i позволяет учитывать результаты нескольких методов путем вычисления функции комплексного показателя θ, представляющую алгебраическую сумму показателей контрастности отдельных методов. Знак у показателей контрастности при суммировании устанавливается в соответствии с решаемой задачей, обеспечивая подчеркивание аномальности искомых объектов по комплексу методов. Подробнее этот вопрос рассмотрен ниже в разделах 3 и 5.

2. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Геофизические методы применяются для изучения разнообразных геологических и технических объектов. Это могут быть геологические структуры, благоприятные на содержание ценного сырья, месторождения и отдельные тела полезных ископаемых. К типовым объектам также относятся земельные основания для строительства или прокладки автомобильных и железных дорог, скважины или другие горные выработки на разведуемых или эксплуатируемых месторождениях и др. При организации и проведении геофизических работ на любых объектах необходимо четко сформулировать цели исследований по выявлению и изучению в типовых условиях геологических образований. Следует также рассмотреть возможные варианты их параметров, физические предпосылки для успешного решения поставленных задач. Результаты, получаемые в процессе исследований, часто требуют оперативного и обоснованного внесения корректив в их технологию. Ответственным моментом является представление ито-

говых данных исследований в форме понятной и удобной для специалистов, организующих комплексные геологоразведочные или изыскательские работы.

Решение всех этих вопросов осуществляется с помощью сформированной для соответствующей стадии работ физико-геологической модели (ФГМ) объекта геофизических исследований. Существенный вклад в теорию и методику комплексирования геофизических методов, включая принципы формирования ФГМ, внес выпускник Свердловского горного института профессор Гелий Сергеевич Вахромеев [1].

ФГМ отражает упрощенно-обобщенное представление об изучаемом геофизическими методами объекте, предполагающее наличие системы геолого-геофизических сведений, имеющихся на данной стадии работ. ФГМ создают в период проектирования геофизических работ, в процессе их проведения по мере поступления получаемых данных, а также по завершению работ в виде итогового документа.

Обобщенную ФГМ можно представлять в виде совокупности частных моделей: геологической, петрофизической и физических полей в профильном, плоскостном или объемном варианте.

Геологическая модель. Примеры геологических моделей рудных полей

Геологическая модель отражает представление об объекте исследований как системе геологических тел и проявлений геологических процессов с изображением соответствующих разрезов, карт, блок-схем и т. п.

Представляет интерес рассмотреть обобщенные морфогенетические геологические модели постмагматогенных рудных полей, которые являются предметом изучения при поисках рудных месторождений. Под рудным полем понимают геологический объект, состоящий из генетически родственных сближенных рудных скоплений, гидротермально измененных минерализованных пород и малых магматических образований, представляющих собой фазы отщепления из общего материнского очага и использовавших в своем движении общие каналы. Поэтому при поисках рудных месторождений интерес представляет выявление всех этих структурных элементов рудных полей.

Наиболее отчетливо модели рудных полей продемонстрированы в работах П. Ф. Иванкина на основе детального изучения более 50

глубокозалегающих месторождений руд самого различного состава. Достоинство типизации рудных полей, выполненное П. Ф. Иванкиным, состоит в том, что сформированные им геологические модели отражают в наглядной форме главнейшие их структурные элементы, к выявлению которых могут успешно привлекаться геофизические методы. Об этом свидетельствует опыт успешных поисково-разведочных работ, отраженный в частности в монографии [13]. Большой набор примеров рудных месторождений, изученных в пределах разнотипных рудных полей, часть из которых приведена ниже, рассмотрен в справочнике [9].

Постмагматогенные рудные поля формируются выше или на периферии материнских интрузий, которые являются источником постмагматических растворов, создающих ореолы гидротермальных изменений горных пород и рудные скопления. По характеру взаимоотношений гидротермального оруденения с материнскими интрузиями можно выделить три рода рудных полей.

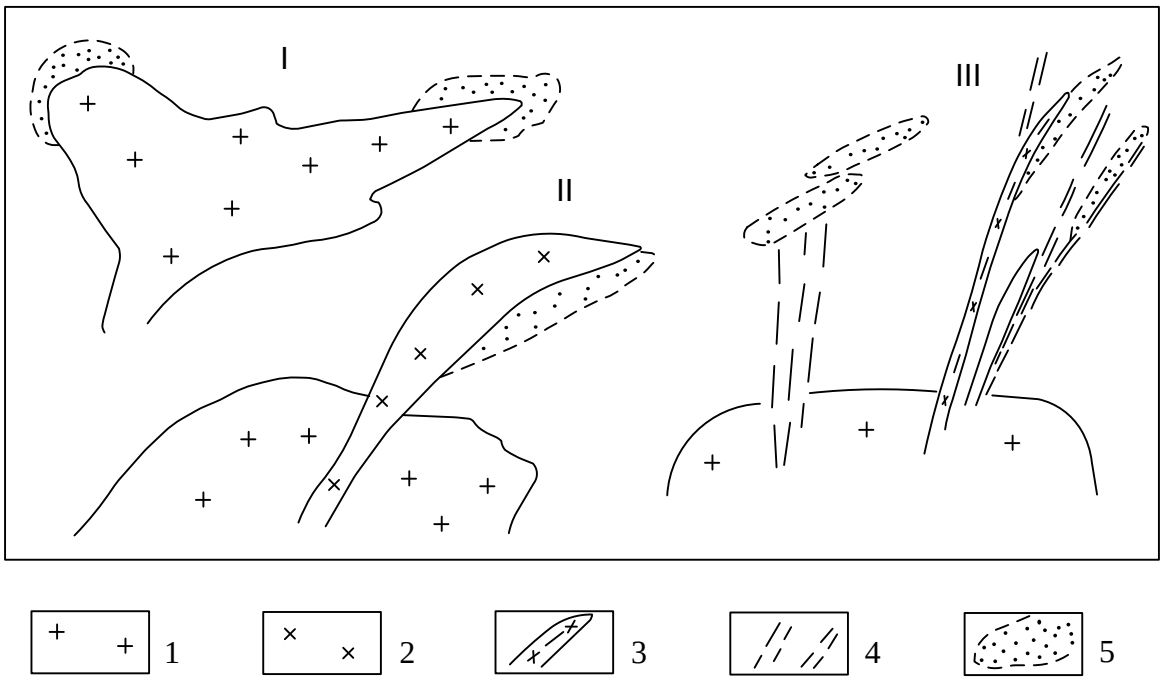


Рис. 6. Морфологические типы (геологические модели) постмагматических рудных полей разного рода (I, II, III) (по П. Ф. Иванкину):
1 – материнский плутон; 2 – тела поздних магматических отщеплений; 3 – лентовидные тела малых интрузий; 4 – разрывные нарушения; 5 – рудоносный комплекс, включающий гидротермально измененные породы и руды

Рудные поля I рода являются ореольными или бескорневыми (рис. 6). Они формируются на ранних стадиях остывания внедривше-

гося магматического тела в условиях широкого фронта отделения растворов по всей или части поверхности материнского интрузива. Растворы обычно обогащены водой, летучими и рудными компонентами. Минерализация вмещающих пород происходит вблизи места отделения растворов от остывающей магмы. В результате образуются широкие ореолы измененных пород с рассеянной или прожилковой минерализацией без богатых локальных скоплений. На поверхности они проявляются в виде полей измененных пород и рассеянной минерализации на достаточно обширных пространствах над погребенными интрузиями или вдоль границ вскрытых эрозией магматических тел. Примеры геологических разрезов месторождений типичных для ореольных рудных полей I рода приведены на рис. 7. Эти разрезы могут рассматриваться как геологические модели этих объектов. Главными структурными элементами их являются интрузии и ореолы рассеянной или прожилковой минерализации.

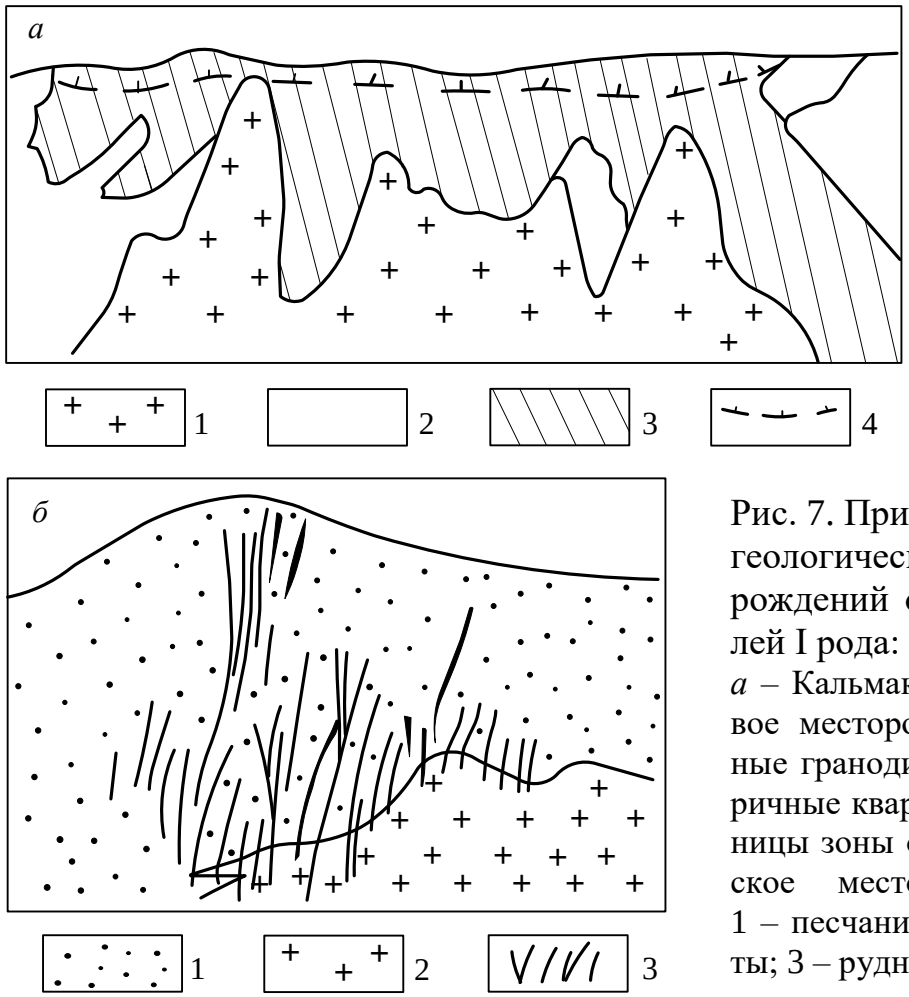


Рис. 7. Примеры схематических геологических разрезов месторождений ореольных рудных полей I рода:
а – Кальмакырское медно-порфировое месторождение: 1 – интрузивные гранодиорит-порфиры; 2 – вторичные кварциты; 3 – руды; 4 – границы зоны окисления; *б* – Иультинское месторождение вольфрама: 1 – песчаники и сланцы; 2 – граниты; 3 – рудные жилы

Рудные поля II рода – это системы рудных тел, окружающих их зон гидротермально измененных пород и поздних магматических от-

щеплений, имеющих общие корни (или рудно- и магмоподводящие каналы), уходящие внутрь крупного интрузива, производными которого все они являются (рис. 6.) Считается, что растворы поступали из верхних частей интрузива и проникали в их кровлю в виде потоков, двигавшихся по нарушениям, контактам или другим проницаемым каналам, что обусловило структурный контроль оруденения. Фигура рудного поля и свойства преобразованных в его пределах пород отражают направленность рудоносных растворов от корней к фронту поля. Рудные поля II рода характерны для гипабиссальных интрузий, часто приурочены к вулканическим постройкам, сформировавшихся над ними, имеют пологие и крутопадающие ветви. Примеры месторождений, типичных для корневых рудных полей II рода, приведены на рис. 8.

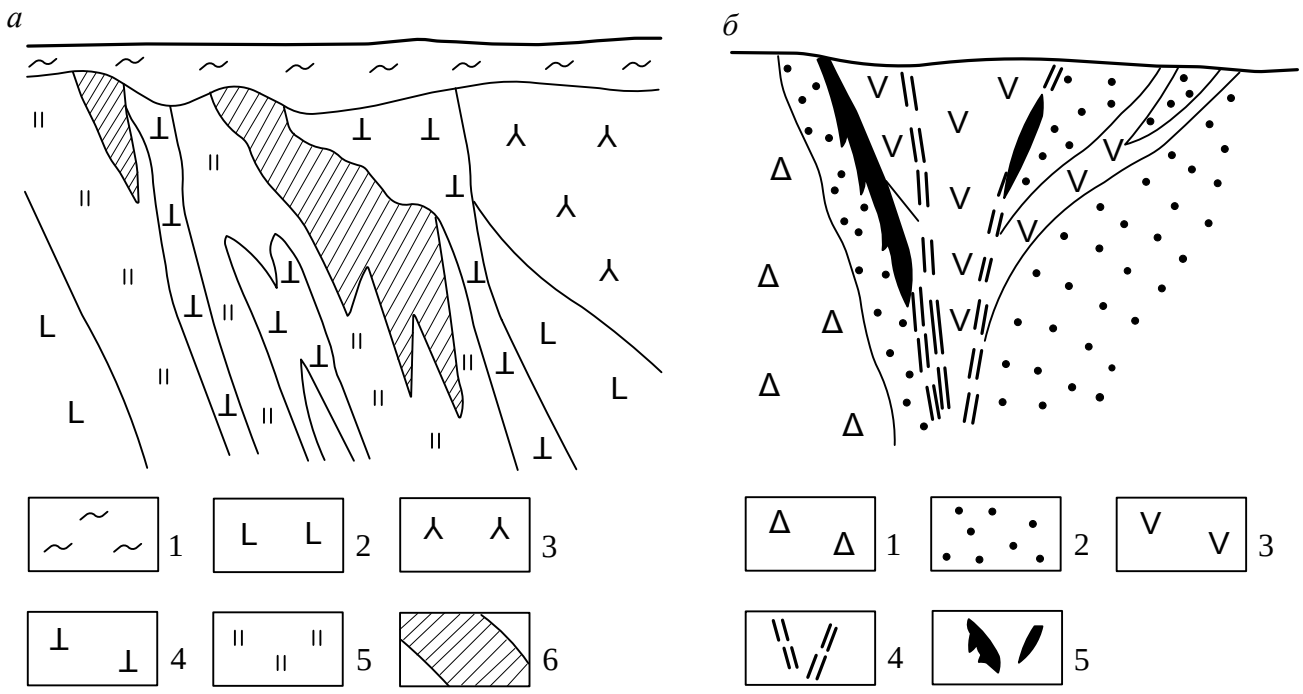


Рис. 8. Схематические геологические разрезы месторождений рудных полей II рода:

а – южная часть Гайского медноколчеданного месторождения: 1 – рыхлые отложения; 2 – туфы; 3 – диабазовые порфириты; 4 – субвулканические липарит-дациты (малая интрузия) ; 5 – метасоматиты; 6 – руды; *б* – молибден-урановое месторождение: 1 – диабазы и спилиты докембрия; 2 – переслаивающиеся осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 3 – субвулканические андезиты (малая интрузия); 4 – разрывные нарушения; 5 – рудные тела

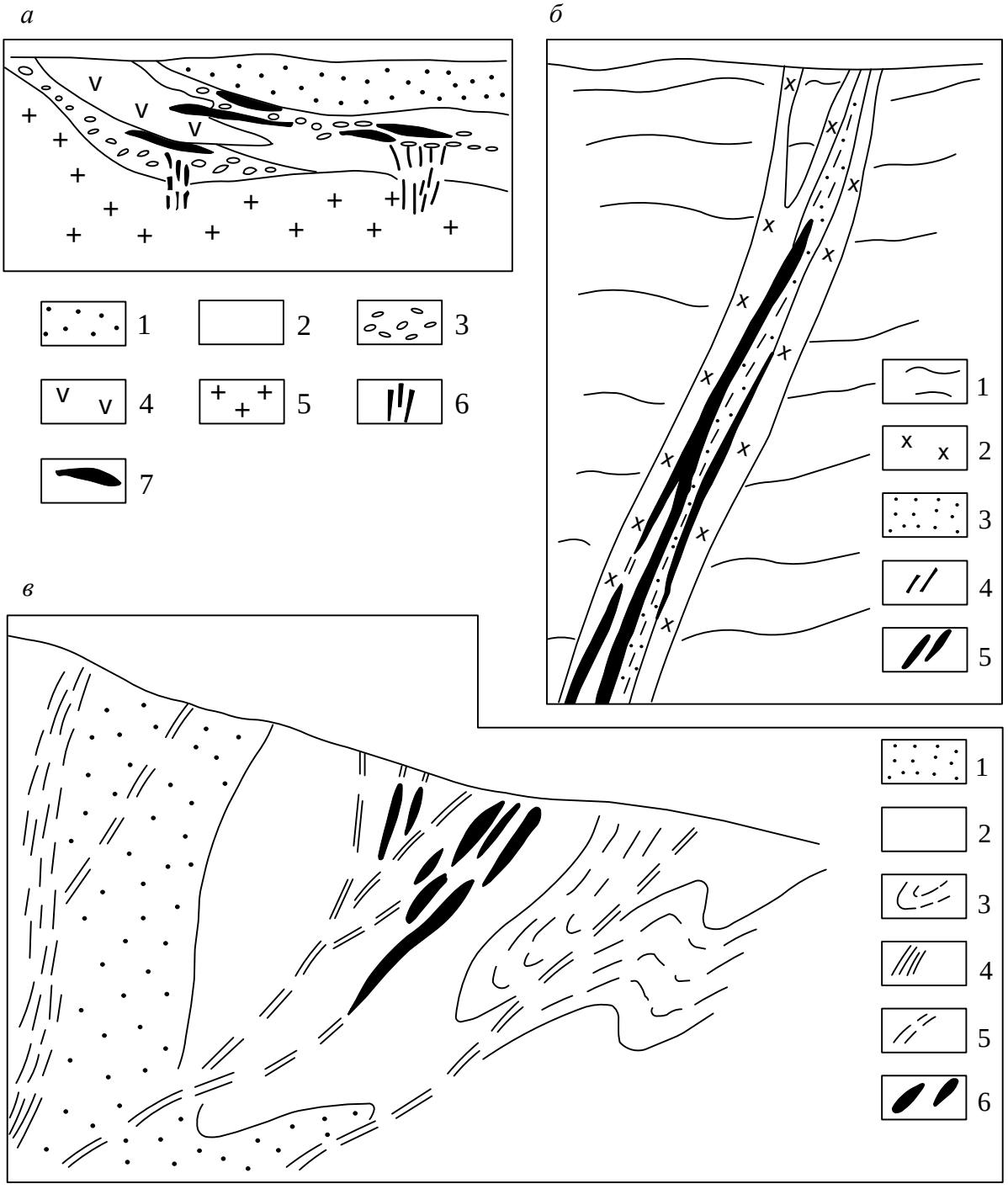


Рис. 9. Примеры геологических разрезов месторождений корневых рудных полей III рода:

а – мышьяково-урановое месторождение: 1 – алевролиты с прослоями песчаников; 2 – песчаники; 3 – конгломераты и гравелиты; 4 – туфолавы; 5 – граниты; 6 – разрывные нарушения; 7 – рудные тела; *б* – уран-титановое месторождение: 1 – кристаллические сланцы и гнейсы; 2 – пегматитовые жилы; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – бластомилониты тектонических швов; 5 – рудные тела; *в* – Сахалинское месторождение киновари:1 – песчаники, конгломераты, алевролиты; 2 – глинистые алевролиты; 3 – пачки глин; 4 – главный разлом; 5 – оперяющие трещины; 6 – рудные тела

К рудным полям III рода относят систему рудных тел, окружающих их измененных пород и иногда сопровождающих их серии малых интрузий, значительно оторванных от глубинных интрузий (рис. 6). Образовавшие их потоки гидротерм приурочены к самостоятельным тектоническим зонам, уходящих на глубину, или к ветвям крупных разломов. Последние являлись открытыми системами и, хотя могут нести следы гидротермальных изменений и минерализации, но промышленных скоплений руды не содержат. В ответвлениях, выклинивающихся к дневной поверхности, или в локальных проницаемых геологических телах, игравшими роль экранированных для растворов резервуаров, с которыми контактировали тектонические нарушения, образуются рудные скопления. Поэтому рудные залежи в рудных полях этого рода залегают согласно со слоистыми толщами или разрывными нарушениями в породах с повышенной пустотностью. Примеры месторождений, характерных для рудных полей III рода, приведены на рис. 9.

Таким образом, как следует из геологических моделей, при поисках рудных месторождений главными объектами выявления геофизическими методами являются рудные залежи, включающие их ореолы околорудных изменений, рудоконтролирующие тектонические нарушения, крупные и малые интрузии. Все эти объекты имеют аномальные петрофизические свойства и благоприятные предпосылки для обнаружения при геофизических съемках.

Модели петрофизические и физических полей

Петрофизическая модель отражает сведения о распределении в геологическом пространстве физических свойств, характеризующих геологические тела, как объекты, имеющие предпосылки для выявления и изучения их геофизическими методами. При этом возможны случаи объединения нескольких геологических образований в структурно-вещественные комплексы (СВК) с одинаковыми или близкими физическими свойствами. В этом случае происходит упрощение петрофизической модели по сравнению с геологической моделью. Однако не исключены случаи, когда внутри условно единого геологического тела существуют участки изменений свойств за счет проявления процессов локального преобразования горных пород, которые отличаются по физическим свойствам и могут фиксироваться геофизическими методами. Такая картина наблюдается при локальном ме-

таморфизме, околорудных изменениях, развитии трещиноватости и др. процессах. В этих случаях петрофизическая модель может отражать результаты действия этих процессов и выглядеть сложнее, чем геологическая модель.

Петрофизическая модель может быть представлена в виде таблиц, типовых физико-геологических колонок, сводных геолого-геофизических разрезов, петрофизических карт или разрезов: самостоятельных или совмещенных с геологическими картографическими материалами. Желательно дополнять традиционно принятые в геологии мелкомасштабные литолого-стратиграфические разрезы (колонки) данными о физических свойствах, представленных на них толщ.

Исходные данные о физических свойствах горных пород для формирования петрофизической модели получают в результате лабораторных измерений на образцах, по данным интерпретации результатов каротажа или параметрических наблюдений физических полей на отдельных участках, а также путем использования справочной литературы. Помимо данных по изучаемой территории обязательно приводятся необходимые сведения об объектах-аналогах, что позволяет учесть опыт предшественников. Примером петрофизической модели месторождения может служить упрощенная типовая физико-геологическая колонка, изображенная на рис.11.

Физические поля или результаты их трансформации отражают данные, получаемые при решении прямой задачи на основе геологической и петрофизической моделей, или же отражают данные реальных наблюдений. Они необходимы для обоснования возможностей геофизических методов. На стадии проектирования это могут быть геофизические поля на объектах-аналогах, ранее изученных в схожих геологических условиях. Физические поля также приводятся как исходный материал, использованный при геологической интерпретации уже выполненных измерений, когда с помощью ФГМ представляются итоговые документы геофизических работ.

Пример физико-геологической модели

В качестве примера на рис. 10, 11 приводится ФГМ уранового месторождения, приуроченного к разрывным дислокациям в метаморфизованных породах протерозоя. По классификации П. Ф. Иванкина оно относится к корневым рудным полям III рода, оторванных от материнского глубинного плутона и приуроченных к тектониче-

ским зонам. На геологической модели (рис. 10, *а*) видно, что разрывные нарушения тяготеют к крыльям антиклинальной структуры, представленной вулканогенно-карбонатными отложениями. Оруденение локализуется в зонах проявления разрывной тектоники преимущественно в сланцевых толщах на участках с повышенной пористостью, появившихся вследствие разуплотнения пород. Рудоносные растворы помимо урана привнесли в зону их разгрузки вещества, сформировавшие ореолы гематитизации и сульфидизации. Эпигнетические изменения вмещающих пород сопровождались образованием в верхней части разреза зоны окисления.

Петрофизическая модель месторождения (рис. 11) отражает развитие аномальных проявлений в физических свойствах, как в контуре рудных тел, так и в околорудно-измененных породах. В рудах помимо высокой радиоактивности (J_γ) отмечается увеличение плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), поляризуемости ($\eta_к$) и понижение сопротивления ($\rho_к$). Вмещающие породы достаточно дифференцированы по физическим свойствам, что позволяет ожидать появление аномалий от складчатых структур. Анализируя петрофизическую модель, можно полагать, что зоны околорудно-измененных пород, характеризующиеся разуплотнением, повышением магнитной восприимчивости, электропроводности и поляризуемости, должны проявиться в магнитном поле, а также по данным методов электрометрии. Следует ожидать наложение на структурную составляющую полей проявлений, связанных с телами рудных тел и сопровождающих их ореолов минерализации.

Действительно, на графиках полей, измеренных комплексом методов по профилю, проходящему через рудоносную структуру (рис. 10, *б*), отражаются главнейшие ее элементы. Так отрицательной локальной аномалией силы тяжести отмечается ядро антиклинали (выход к поверхности карбонатов среди магматических пород). Расширение этой аномалии связано с проявлением зон разуплотнения и трещиноватости, обусловленных существованием здесь разрывных нарушений, как одного из признаков благоприятных условий для проникновения рудоносных растворов.

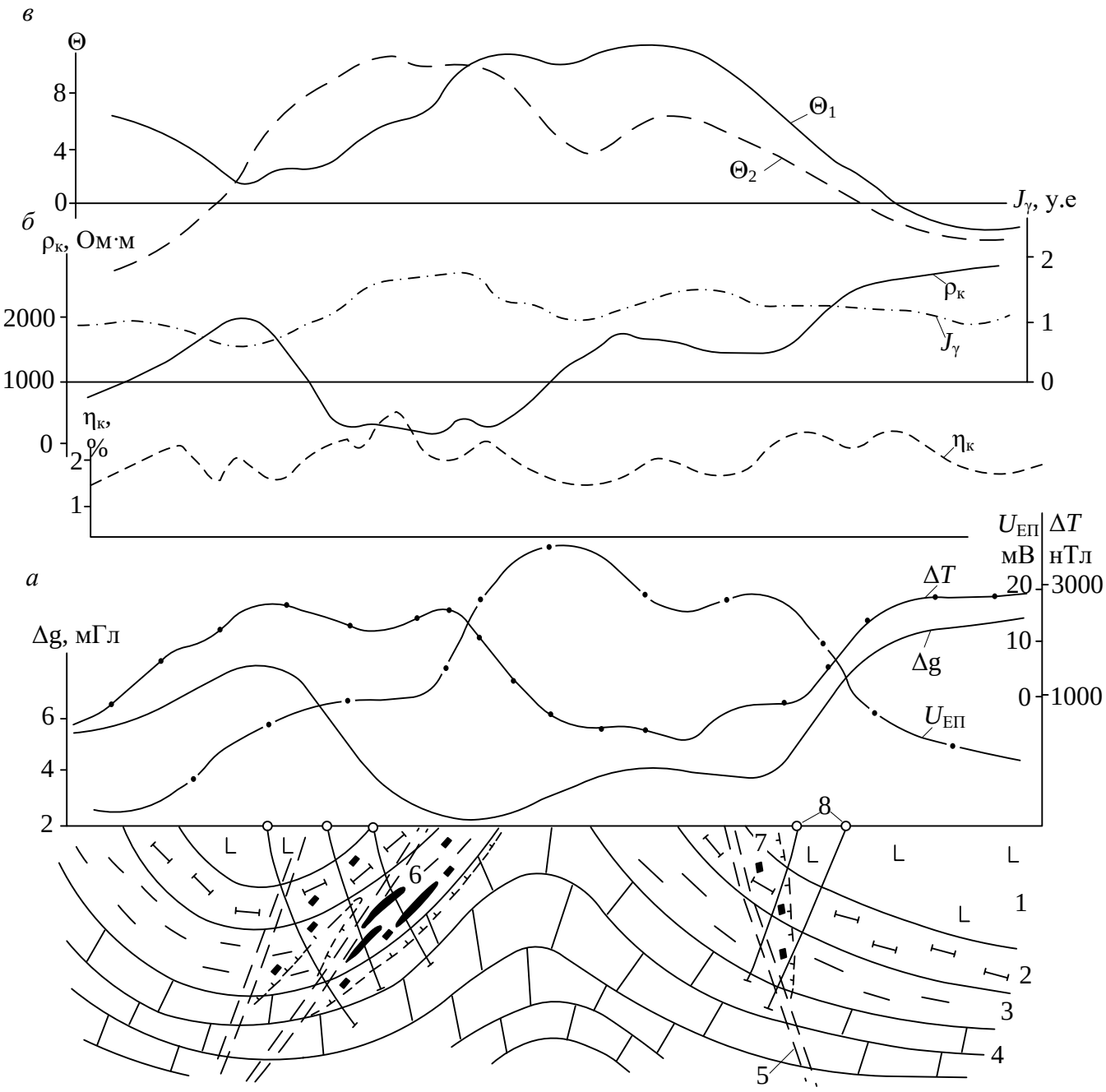


Рис. 10. ФГМ месторождения урана (по В. Е. Голомолзину, В. А. Титовой, А. В. Денисову):
а – геологический разрез (геологическая модель)месторождения: 1 – габбро-диабазы; 2 – пестроцветные слюдистые сланцы; 3 – слюдисто-карбонатные шунгитсодержащие сланцы; 4 – доломиты; 5 – тектонические нарушения; 6 – урановые руды; 7 – зоны гидротермально метасоматических изменений и минерализации; 8 – скважины; *б* – графики геофизических полей; *в* – функции комплексного показателя аномалий гравитационного и магнитного полей (θ_1), полей электрометрии и радиометрии (θ_2)

Отрицательная локальная аномалия магнитного поля, связанная с ядром антиклинали, явно уже гравитационной аномалии, то есть заметно повышение магнитного поля в районе ослабления поля силы

тяжести (над выходом к дневной поверхности рудоносных пород). Такое несоответствие двух полей является признаком отражения развития вторичных процессов, связанных с проявлением рассеянного ожелезнения, что характерно для фронтальной части ореола поступавших из недр рудоносных растворов. Это весьма благоприятный поисковый признак.

Для месторождения характерны участки профиля, на которых отмечается заметное уменьшение удельного сопротивления, хотя и слабое, но заметно повышение поляризуемости среды по данным срединного градиента с размером установки 1000 м. Так как над этим участком также наблюдается заметное повышение гамма-поля, то эти важные признаки следует также рассматривать как благоприятные для обнаружения оруденения.

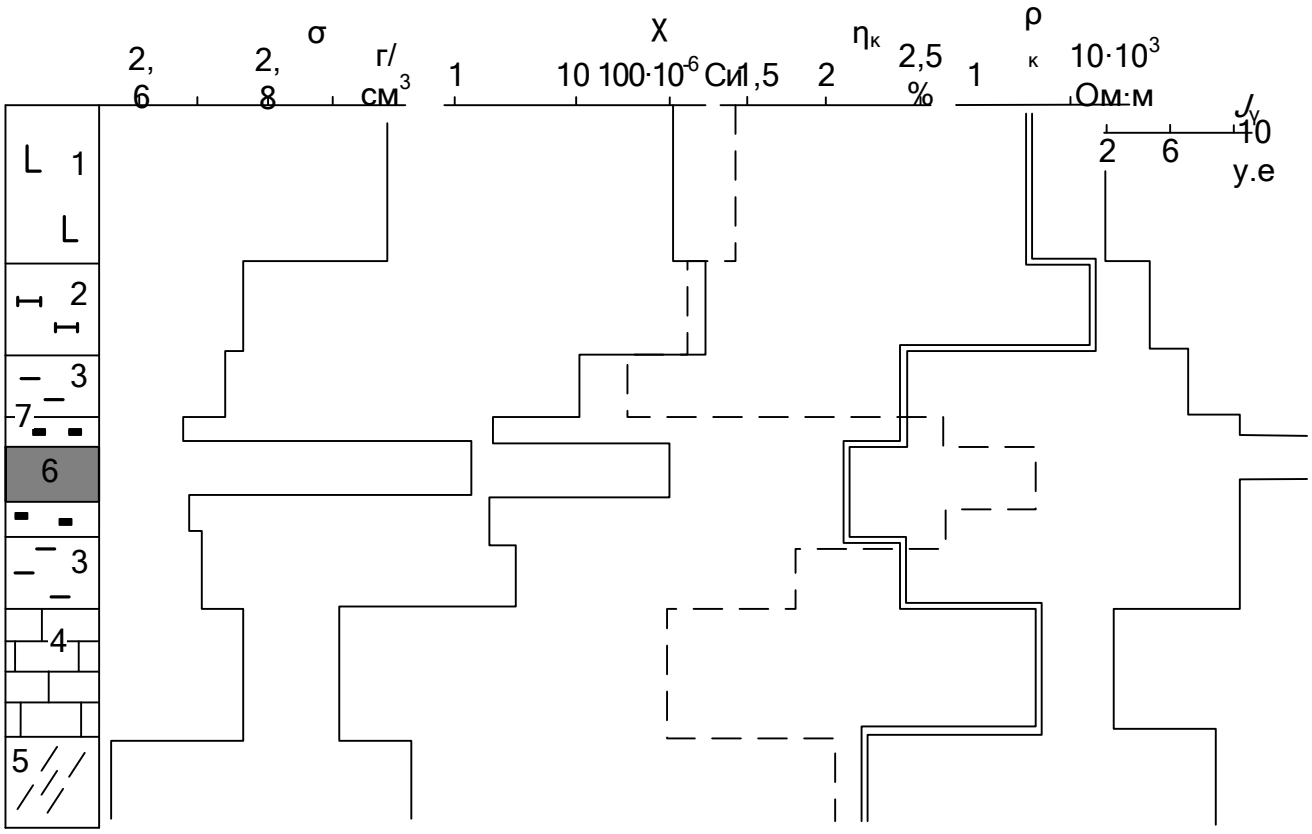


Рис. 11. Типовая физико-геологическая колонка (петрофизическая модель) месторождения урана (см. рис.10):
графики плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), кажущихся поляризуемости ($\eta_к$) и удельного сопротивления ($\rho_к$), радиактивности (J_γ) горных пород разреза (1-7 см. подрисуночные надписи к рис.10, *а*)

Весьма отчетливо влияние рудоносных пород проявляется в виде четкой положительной аномалии естественного электрического

поля. И хотя аномалия несколько смещена по восстанию относительно самого оруденения и наблюдается еще над участком с рассеянной минерализацией, однако, при наличии других признаков район, наиболее перспективный на оруденение, по аномалии естественного поля фиксируется достаточно надежно.

Представление о возможности совместного учета результатов нескольких методов показано на примере двух вариантов функции комплексного показателя (рис. 10, *в*). При вычислениях в качестве нормального поля использовались значения, типичные для участков профиля, проходящих над магматическими породами. Вычислительные формулы для Θ составлялись с таким расчетом, чтобы подчеркнуть положительными аномалиями присутствие объектов, представляющих первоочередной интерес.

Функция Θ_1 вычислялась по формуле $\Theta_1 = - \gamma_{ГР} - \gamma_м$ и отражает совместное проявление аномальности полей гравиметрии и магнитометрии. При структурных исследованиях интерес представляют выходы к дневной поверхности потенциально рудоносной толщи сланцев, и соответствующие им отрицательные аномалии этих полей являются положительными факторами контроля этих искомых объектов. Это обстоятельство учтено в формуле Θ_1. График функциии Θ_1 имеет картировочное значение и положительная аномалия Θ_{A1} хорошо соответствует выходам сланцев совместно с толщей карбонатных пород среди тел магматитов.

Функция Θ_2 отражает аномальность методов электроразведки (КС, ВП и ЕП) и радиометрии, связанных с самим месторождением урана и близрасположенного рудопроявления, и вычислялась по формуле $\Theta_2 = \gamma_{ВП} + \gamma_{ЕП} - \gamma_{КС} + \gamma_Р$. Результирующая аномалия этих методов подтверждает возможность применения данного комплекса методов для поисков урановых руд в геологических условиях близких тем, которые отражены на представленной ФГМ.

Таким образом, сформированная по данным геологии, измерений физических свойств в скважинах и полей на дневной поверхности ФГМ, позволяет расшифровать природу геофизических аномалий наземных методов, выявить те признаки, по совокупности которых можно обнаруживать урановые месторождения в районе с подобными геологическими условиями. Появляется возможность обосновать комплекс геофизических методов, при применении которого можно рассчитывать на успешные результаты поисков.

3. ФОРМИРРОВАНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ РУДНОГО КАРОТАЖА

В настоящее время сведения о физических свойствах при проектировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых в основном получают по данным геофизических методов исследования скважин (ГИС). Одним из вариантов представления петрофизической модели объекта исследований является типовая геолого-геофизическая колонка разреза изучаемой геологической среды. В промысловой геофизике она получила название сводный геолого-геофизический разрез. Поскольку физические свойства осадочной толщи, изучаемой методами промысловой геофизики, достаточно стабильны по латерали, для формирования модели разреза используют диаграммы 2-3 скважин, имеющих пересечения всех структурных элементов разреза.

В рудных районах, характеризующихся высокой изменчивостью разнообразных признаков геологических образований, представление об их физических свойствах можно получить с помощью стохастической модели разреза.

Основными элементами структуры рудного поля являются геологические тела и зоны развития геологических процессов, мощности которых измеряются десятками метров. Отдельный элемент, исходя из опыта ГИС, представляет образование с включениями и его можно с некоторым приближением рассматривать как двухкомпонентную среду. Размеры включений обычно составляют первые метры. Роль включений играют мелкие чередующиеся пропластки пород иного состава по сравнению с вмещающей их средой. К включениям относят также локальные участки проявления выборочного эпигенетического преобразования в геологическом теле, останцы материнской породы, подвергшейся метаморфическим изменениям, и др.

Кодирование диаграмм ГИС

Рассматривая пересечение геологического тела в скважине как двухкомпонентную смесь, предложено выполнять кодирование диаграмм каротажа, позволяющее представить информацию о пересечении в виде характеристик изучаемого свойства (поля) А и долей содержания для каждого из компонентов [8]. Естественно полагать, что для одного из компонентов макросмеси присущи высокие значения

свойства $А_в$, а для другого – низкие значения этого свойства $А_н$. Коэффициенты, отражающие содержание каждого из компонентов, соответственно равны $К_в$ и $К_н$.

Для реализации простейшего способа определения характеристик такой макросмеси необходимо провести в пределах пересечения три линии, осредняющие значения измеряемого свойства для каждого из компонентов (средние значения $А_в$ и $А_н$) и диаграммы в целом (значение $А_{ср}$) (рис. 12). Первые два значения определяют свойства компонентов, а коэффициенты содержания каждого из компонентов находят по формулам:

$$К_в = (А_{ср} – А_н)/(А_в – А_н),\ К_н = (А_в – А_{ср})/(А_в – А_н) = 1 – К_в\ .\quad (4)$$

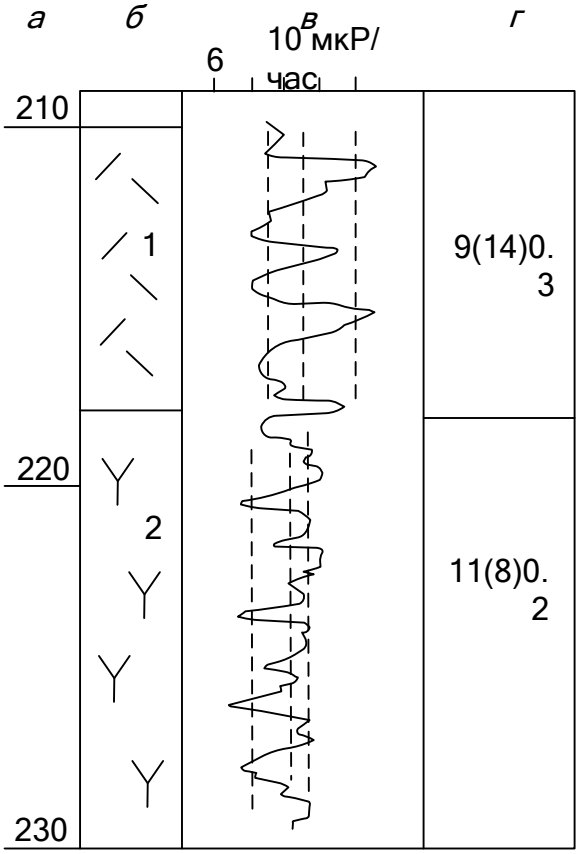


Рис. 12. Пример кодирования диаграммы ГК для двух интервалов участка скважины:
а – глубины; *б* – геологическая колонка; *в* – диаграмма; *г* – результаты кодирования; 1 – туфы; 2 – липариты

Очевидно, что, если мощность рассматриваемого пересечения составляет Н метров, то доли компонентов в метрах равны: $Н_в = НК_в$ и $Н_н = НК_н$.

Информацию об измеренном физическом признаке для каждого пересечения геологического образования можно представить в виде кода следующего вида: $А_{ок}(А_{вкл})К_{вкл.}$ Первое значение соответствует средней величине физического свойства основного компонента, доля

которого в макросмеси выше. Значение в скобках отражает среднее значение физического свойства компонента, рассматриваемого как включение, а последнее значение соответствует его доле в макросмеси. Следует заметить, что основной компонент также как и включения могут характеризоваться относительно высокими или низкими значениями свойства. Например, при кодировании данных измерений методом ГК естественной радиоактивности в мкР/час (рис. 12) для интервала 210-218 м (туфы) с помощью набора значений 9(14)0,3 фиксируется наличие среди основной части пласта мощностью 8 м включений (пропластков с повышенным содержанием кислой фации), на долю которых приходится 2,4 м. Основная масса туфов имеет радиоактивность 9 мкР/час, а более радиоактивные пропластки характеризуются значениями около 14 мкР/ч. Для липаритов, залегающих ниже туфов, пересечение которых зафиксировано в интервале 218-230 м, характерны средние значения для основного компонента 11 мкР/час, а для включений 8 мкР/час. Доля включений составляет 0,2, и поэтому результаты кодирования для этого интервала выражаются набором значений 11(8)0,2.

Имеется программа автоматического кодирования диаграмм методов ГИС, созданная В. А. Серковым при участии автора.

Результаты кодирования позволяют представить данные измерения физического свойства (поля) по скважине в компактной форме, удобной для хранения, трансляции, применения разнообразных способов обработки, построения петрофизических разрезов без потери информации о неоднородной структуре геологических образований, отражающей проявление определенных процессов. Например, имея данные кодирования диаграммы электрометрии с измерениями удельного сопротивления ρ в Ом·м, можно вычислить коэффициент электрической анизотропии λ. Для среды с двухосной анизотропией, характеризующейся удельным сопротивлением вкрест слоистости – ρ_n, по слоистости – ρ_t, справедливы следующие формулы:

$$\rho_n = К_в\rho_в + К_н\rho_н, \quad \rho_t = \rho_в\rho_н/(К_н\rho_в + К_в\rho_н), \quad \lambda = (\rho_n/\rho_t)^{1/2} \qquad (5)$$

Статистическая обработка результатов кодирования

Данные кодирования диаграмм методов ГИС, зарегистрированных по нескольким скважинам изучаемого участка на стадии поисков или разведки, позволяют сформировать петрофизические модели каждого элемента структуры этого участка. Задача практически сво-

дится к получению представления о типичных горных породах и рудах участка, как объектах исследования геофизическими методами. При этом следует отразить те изменения в свойствах этих пород, которые вызывают процессы тектоники, метаморфизма и минерализации.

Петрофизические модели, присущих изучаемому разрезу литотипов горных пород, формируются на основе статистических исследований по выборкам для каждого из них путем построения кривых распределения изучаемых физических характеристик. В выборку для конкретного литотипа включаются все его пересечения, которые на геологических колонках классифицированы приблизительно одинаково. Статистика проводится для каждого изучаемого геофизического свойства отдельно, подобно тому, как это делается при оценке уровня нормального поля стохастическим способом (см. раздел 2). Поскольку распределение для большинства физических свойств статистически однородных совокупностей горных пород подчиняется логнормальному закону, рассмотрим этот случай детально.

Для построения дифференциальной кривой распределения признака (физического поля или свойства) А необходимо выполнить группирование данных о нем по классам (интервалам равной ширины на оси абсцисс), применяя логарифмическую шкалу. Для достаточно представительных (репрезентативных) выборок удобно разбивать один порядок на 4 класса. Например, границы классов могут соответствовать значениям: 1-1,8-3,2-5,6-10-18-32 и т. д. В случае применения второй смещенной шкалы границы классов: 1,4-2,5-4,4-7,8-14-25 ит. д. При таком подходе отпадает необходимость применять бланки с логарифмической шкалой.

В таблицу группирования заносятся значения мощности в метрах. Для двухкомпонентных макросмесей в таблицу заносятся мощности компонентов $H_н$ и $H_в$ в классы в соответствии с характерными для компонентов значениями $A_н$ и $A_в$. В большинстве случаев они разносятся по разным классам, но при близких значениях измеряемого признака мощности компонентов могут попасть в один класс. Дифференциальная кривая распределения (функция частости) строится по данным о суммарной мощности (ординаты) каждого класса (на оси абсцисс это середины классов). Пример дифференциальной функции распределения приведен на рис. 13, *а*.

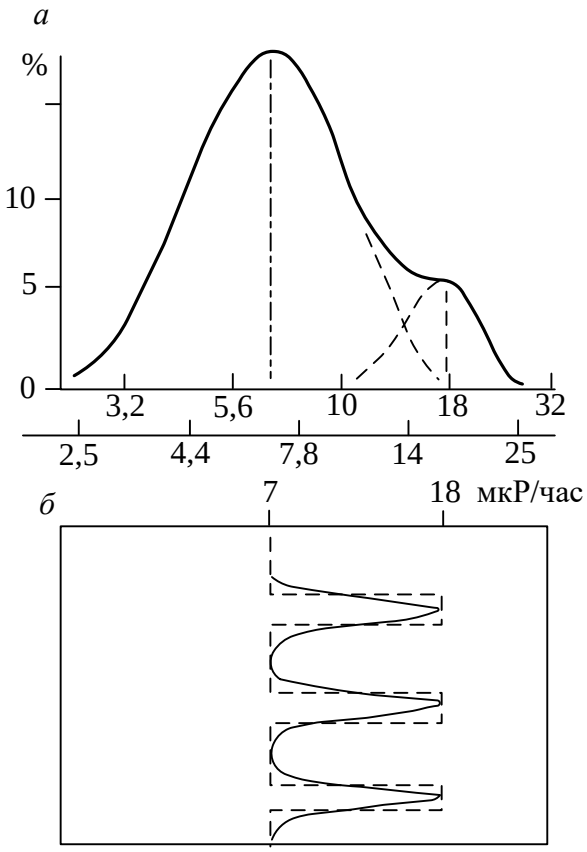


Рис. 13. Пример построения статистической диаграммы для туфов смешанного состава:
а – дифференциальная кривая распределения естественной радиоактивности (выборка по 5 скважинам); *б* – статистическая диаграмма ГК (поле в логарифмическом масштабе)

В большинстве случаев кривые распределения отражают статистическую неоднородность изучаемых образований, которая проявляется в двухгорбности кривых, или они имеют другие особенности, также позволяющие сделать вывод о двухкомпонентной структуре этих образований. Пользуясь известными приемами статистики сложную кривую распределения можно представить в виде двух элементарных кривых, соответствующих логнормальному закону. По ним легко определить центральные значения признака для каждого компонента, а также долю каждого компонента в выборке (по соотношению площадей элементарных кривых). Эти данные и используют для статистической характеристики изучаемых объектов по геофизическим признакам путем построения прямоугольных диаграмм, которые затем могут быть скорректированы с учетом специфики вида аномалий измеряемого в скважинах поля. Так для метода ГК аномальными являются пропластки (включения) с максимумом аномалии в середине пропластков и полумаксимумом на их границах.

Рис. 13, *б* иллюстрирует принцип построения статистической диаграммы для объекта по данным, получаемым при использовании распределения естественной радиоактивности туфов смешанного состава (измерения по 5 скважинам на периферии медноколчеданного

месторождения). О соотношение долей основного компонента и включений можно судить по ширине площадок значений радиоактивности основного компонента и включений. В рассматриваемом примере это соотношение 1:3 и, следовательно, на статистической диаграмме $К_{вкл} = 0,25$.

Построение типовой физико-геологической колонки

Построение начинается с формирования типовой геологической колонки, которая отражает в разрезе весь комплекс геологических тел, участвующих в создании структуры изучаемого участка с отражением последовательности их залегания. При мелкомасштабных исследованиях можно использовать литолого-стратиграфическую колонку, которая создается геологической службой в каждом районе геологоразведочных работ. Такие колонки обычно не имеют масштаба, а сведения о мощностях толщ или геологических тел приводятся на колонке в виде диапазонов их мощностей. На геологических колонках отдельно выделяются объекты, которые развиты в районе не повсеместно, то есть появляются в виде локальных тел. В первую очередь это относится к малым интрузиям, рудным телам и зонам метаморфизма. Подобные объекты изображаются в виде включений в толще вмещающих пород.

На основе дифференциальных кривых распределения геофизических признаков для каждого литотипа формируются статистические диаграммы по изученным признакам для всего разреза в соответствии с геологической колонкой. В большинстве случаев все геологические тела представляются на статистических геофизических диаграммах как образования с включениями. Неоднородность объектов показывают путем изображения прямоугольных или скорректированных с учетом типичной формы диаграмм, подобных той, которая представлена на рис. 13, *б*. Пример типовой физико-геологической колонки (упрощенный вариант без отражения компонентов в горных породах) приведен на рис.10.

Типовая физико-геологическая колонка дает представление о физических свойствах всего комплекса геологических образований в изучаемом районе и на ее основе могут решаться разнообразные задачи в период проведения геологоразведочных работ. Полученные данные используют при формировании петрофизической модели при исследовании участков с условиями близкими тем, которые учтены

при формировании типовой колонки, как на стадии проектирования работ, так при интерпретации измеренных полей. В период разведки типовая колонка помогает правильно классифицировать объекты, изученные методами ГИС.

4. ТОЧНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЙ

Вопрос о точности наблюдений возникает как в период проектирования геофизических работ, так и по их завершении. При планировании точности наблюдений необходимо знать уровень аномалий от объектов, представляющих интерес для решения стоящих задач, погрешности измерений, которые возникают при применении имеющейся аппаратуры и планируемой технологии измерений, а также вероятный диапазон геологических помех, типичный для фоновых образований из-за их неоднородности.

Сведения об интенсивности аномалий, подлежащих обнаружению, получают исходя из анализа сформированной ФГМ и опыта предшественников. Обычно ориентируются на некоторую минимальную по интенсивности аномалию, которая характерна для объекта,п представляющего интерес при решении поисковой задачи.

Необходимо учитывать, что искомую аномалию придется обнаруживать на фоне нормального поля, присущего среде, вмещающей искомый аномалиеобразующий объект. Нормальное поле всегда имеет некоторую дисперсию D_0, которую можно охарактеризовать через среднеквадратичную погрешность измерения нормального поля S_0, поскольку $D_0 = S_0^2$. Как уже отмечалось в разделе 2, величину S_0 можно оценить несколькими способами. К стандартным относится аналитический способ, основанный на использовании данных n измерений поля А в пределах фоновой среды и формулы (1). В случае малой выборки вместо n применяют значение $n–1$.

Дисперсия значений в пределах нормального поля слагается из дисперсии геологических помех $S_Г$, вызванных неоднородностью фонового объекта, и дисперсии показаний, связанных с аппаратурно-методическими (условно приборными) погрешностями измерений $S_П$. Поэтому общая дисперсия измерений фона равна: $S_0^2 = S_Г^2 + S_П^2$.

Приборная погрешность оценивается по результатам независимых контрольных n измерений поля по формуле

$$S_п = \pm\sqrt{\sum_1^n (A_1 - A_2)^2 / (2n-1)},$$

A_1 и A_2 – соответственно первичное и контрольное измерение на *i*-ой точке.

По величине составляющей $S_Г$, которая равна $S_Г = (S_0^2 - S_П^2)^{1/2}$, получают представление о влиянии геологических помех.

Для успешного выделения аномальных значений A_a, как это уже отмечалось в разделе 2, необходимо чтобы выполнялись условия: $A_a < (\bar{A}_0 - 2 S_0)$ или $A_a > (\bar{A}_0 + 2 S_0)$. В первом случае выделяется отрицательная, а во втором случае положительная аномалии.

Для снижения общей погрешности измерений S_0 руководствуются следующими положениями [1,3].

1. Если $S_Г > S_П$, то для снижения $S_Г$ полезным оказывается применение специальных методов обработки данных съемки с целью подавления геологических помех, носящих часто случайный характер. Например. простое сглаживание измеренного поля по N точкам уменьшает $S_Г$ почти в N раз.

2. Если $S_П > S_Г$, то есть смысл применить более точную аппаратуру или усовершенствовать технологию измерений. Например, за счет многократного (N кратного) измерения поля на одной точке и использования осредненного его значения удается уменьшить величину $S_П$ приблизительно в $\sqrt{N}$ раз.

Среднеквадратичная приборная погрешность $S_П$ вычисляется по результатам каждой съемки. Обычно планируется для выполненного объема наблюдений провести приблизительно в 5 % точках контрольные измерения.

5. ОБОСНОВАНИЕ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

Как правило, сеть наблюдений представляет систему параллельных профилей, на которых намечаются с определенным шагом точки наблюдения. Условно принимают, что профили параллельны оси x и перпендикулярны оси y. Тогда расстояния между профилями – Δy, а между точками – Δx.

Обычно геофизическая съемка проводится в помощь геологическому картированию определенного масштаба. Исходя из этого масштаба расстояние между профилями должна составлять на отчетной карте съемки 1 см. Например, при масштабе 1:50000 необходимо иметь Δy = 500 м. Шаг наблюдений обычно в 2 раза меньше межпрофильного расстояния. В рассматриваемом примере Δx = 250 м.

При непрерывной регистрации характеристик физического поля (на борту самолета, вертолета, судна, автомобиля) в силу инерционности регистрирующей аппаратуры условным шагом съемки можно считать величину $\Delta x = V \cdot \tau$, учитывающую скорость и постоянную времени движущегося измерителя.

В условиях резкой изменчивости свойств геологической среды масштаб геофизической съемки может быть принят вдвое крупнее, чем для геологического картирования.

При проектировании поисковых геофизических работ, проводимых, как правило, в масштабах 1:10000 и 1:5000, необходимо предвидеть вид и величину ожидаемых аномалий от объектов, представляющих первоочередной интерес для решения поисковой задачи. Этими объектами могут быть не только тела полезных ископаемых, но и связанные с ними генетически и пространственно малые интрузии, разрывные нарушения, ореолы околорудных изменений и др., имеющие обычно меньшую контрастность по аномальным признакам. Представления о форме и размерах аномальных зон искомых геологических объектов формируются на основе анализа ФГМ.

Сеть наблюдений выбирают такой, чтобы в контур аномальной зоны попал хотя бы один профиль с двумя точками наблюдений, на которых аномальный объект будет зафиксирован.

Существует возможность теоретически оценить вероятность P обнаружения объекта [1, 6]. Обычно форму аномальной зоны объекта отождествляют с эллипсом, оси которого равны L (длина зоны) и B (ширина зоны). В наиболее простом случае вероятность пересечения аномальной зоны одним из профилей, ориентированных перпендикулярно большой оси (т.е. вкрест простирания), когда $L \leq \Delta y$, выражается простой дробью: $P = L / \Delta y$. При неизвестной ориентировке такого объекта вероятность его пересечения определяется классическим решением «задачи об игле», сформулированной монахом Ж. Бюффоном еще в 18 веке:

$$P = 2L/\pi \Delta y. \qquad (7)$$

Можно отметить, что только за счет неизвестной ориентировки объекта поисков по отношению к направлению съемочных профилей при $L=\Delta y$ вероятность его обнаружения снижается с 1 до $P = 2/\pi = 0{,}637$.

Если известен угол β отклонения профилей от нормали к простиранию объекта в радианах, то при $L \le \Delta y$ вероятность обнаружения объекта равна:

$$P = L \sin\beta / (\beta \Delta y). \quad (8)$$

Полезно заметить, что для значения $\beta = \pm \pi/6$ величина $\frac{\sin\beta}{\beta} = 0{,}955$, т.е. мало отличается от 1. Поэтому на практике достаточно чтобы сеть профилей была ориентирована только приближенно правильно. Если это условие соблюдается, то при $\Delta y = 0{,}9\,L$ пересечение аномальной зоны профилем гарантированно.

Общее решение задачи о вероятности пересечения контура аномалии профилем при произвольном значении угла β, когда $L / \Delta y \ge 1$, приводит к выражению:

$$P = \frac{2}{\pi}\left[\frac{L}{\Delta y} + \cos^{-1}\frac{\Delta y}{L} - \sqrt{\left(\frac{L}{\Delta y}\right)^2 - 1}\right]. \quad (9)$$

При $L = \Delta y$ снова получаем $P = 2/\pi = 0{,}637$.

Общее выражение для вероятности пересечения аномальной зоны эллиптического вида с осями L, B и периметром П при произвольной ориентировке профилей съемки имеет вид:

$$P = П/\pi\Delta y, \quad (10)$$

$$П = \frac{\pi}{2}\left[1{,}5(L + B) - \sqrt{L \cdot B}\right]. \quad (11)$$

Две точки профиля, пересекающего аномальную зону, окажутся внутри ее контура, если $\Delta x \le B/2$.

Для более скурпулезной оценки вероятности P имеется серия номограмм, учитывающих возможные варианты соотношения размеров контура аномалии, параметров сети и углов β [1, 3].

Оценим для примера вероятность обнаружения аномальной зоны размером 200×50 м сетью с ячейкой 100×25 м при неизвестном простирании оси зоны. В этом случае L = 200 м, Δy = 100 м. и по формуле (9) получим P = 0,83. С использованием специальных номограмм можно установить, что объект будет обнаружен с вероятностью P = 1, если отклонение профилей от нормали к простиранию объекта будет меньше 60°.

Следующая задача может быть сформулирована в виде задания. Необходимо определить какого минимального размера аномальная

зона с неизвестным простиранием может быть обнаружена с помощью сети размером в м 250×50. Для решения найдем величину периметра зоны П из формулы (10) для случая P = 1, полагая В = 100 м и Δy = 250 м. Эта величина равна П = 785 м. Решая уравнение для П относительно L (методом подбора или составив квадратное уравнение относительно $\sqrt{L}$), получим искомую величину: L = 360 м.

На стадиях детальных поисков и разведки сеть наблюдений бывает самой разнообразной. Помимо прямоугольной сети при детальных съемках возможно проложение радиальных и криволинейных профилей, допустимо отклонения от равномерности изучения площади съемки. Повышенная детальность принята для интерпретационных профилей, шаг наблюдений на которых допустимо устанавливать таким, чтобы выявить характерные точки измеряемого физического поля (экстремумы, точки перегиба, перехода через ноль и т. п.). Обычно пункты наблюдения сгущают в районе эпицентра аномалий и разряжают на участках выхода в нормальное поле. В результате детальных работ необходимо установить конфигурацию, размеры аномалии, ее амплитуду и другие особенности, которые затем используют в процессе интерпретации.

Шаг наблюдений подбирают с таким расчетом, чтобы при аппроксимации поля между двумя фиксированными точками прямой линией отклонение фактических его значений от этой прямой не превышало 5 % средней величины значений поля. Например, при съемке естественного поля с шагом 20 м амплитуда аномалии составила 58 мВ, откуда следует, что среднее значение аномалии на профиле приблизительно равно 29 мВ. Между двумя рядовыми точками съемки, на которых получены значения 27 и 39 мВ, выполнено промежуточное измерение с результатом 36 мВ. Разница между последним значением и средней величиной рядовых измерений равна 3 мВ, что составляет 10,3 % от среднего значения аномалии. Следовательно, необходимо сгустить сеть, уменьшив шаг наблюдений по крайней мере в 2 раза.

7. ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И ИХ КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Конечным результатом геофизических съемок является выявление и геологическое истолкование тех неоднородностей геологиче-

ской среды, которые по размерам и контрастности свойств способны создавать ощутимые аномалии.

Важнейшими проблемами анализа измеренных полей являются исключение или ослабление их составляющих, связанных с влиянием геологических помех, разделение выделенных на фоне помех аномалий на региональные и локальные (возможно нескольких порядков). Необходимы классификация выделенных аномалий на перспективные (отвечающие целевым задачам) и неперспективные, выполнение качественной и количественной интерпретация аномалий и определение их геологической природы.

Выделение аномалий

При анализе поля А принимается аддитивная (суммирующая) его модель, согласно которой существующая в рядовой точке функциональная величина аномалии $A_а$ имеет региональную $A_{ар}$, локальную $A_{ал}$ и случайную $A_{ас}$ (помеха) составляющие:

$$A_а = A_{ар} + A_{ал} + A_{ас}. \quad (12)$$

Помехи обычно отождествляют со случайными функциями и эта их особенность позволяет применять специальные методы математической фильтрации, основанные на исключении составляющих поля с высокочастотным спектром и некоррелируемостью характеристик поля по площади. Простейшей операцией по ослаблению случайной составляющей является сглаживание в окне из нескольких точек. Если взять 5 точек и применить полином третьей степени, то формула для сглаживания измеренных значений А в рядовой точке с номером *i* с использованием данных по соседним точкам имеет вид:

$$A_{сгл}(i)=0{,}486A(i)+0{,}343\{A(i+1)+A(i-1)\}-0{,}086\{A(i+2)+A(i-2)\}. \quad (13)$$

Процедура сглаживания приводит к уменьшению дисперсии фона главным образом за счет снижения геологической погрешности при незначительном изменении неслучайной аномалии. В результате уменьшения общей среднеквадратической погрешности наблюдений увеличивается контрастность аномалии и, следовательно, улучшаются условия для ее выделения.

Примером могут служить результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости, приводимые на рис. 21. Согласно исходным измерениям (график *а*), диапазон колебаний фоновых значений $\eta_к$ составляет 0,5-2,5 % , а среднее значение равно 1,5 %. Выше верхнего предела фона зафиксированы 2 точки со значениями около

3 %. Полагая, что аномальные значения в этих точках равны 1,5 %, а среднеквадратичное отклонение для фона составляет 0,5 %, вычисленный показатель контрастности аномалии (см. (6)) для данных условий равен 3.

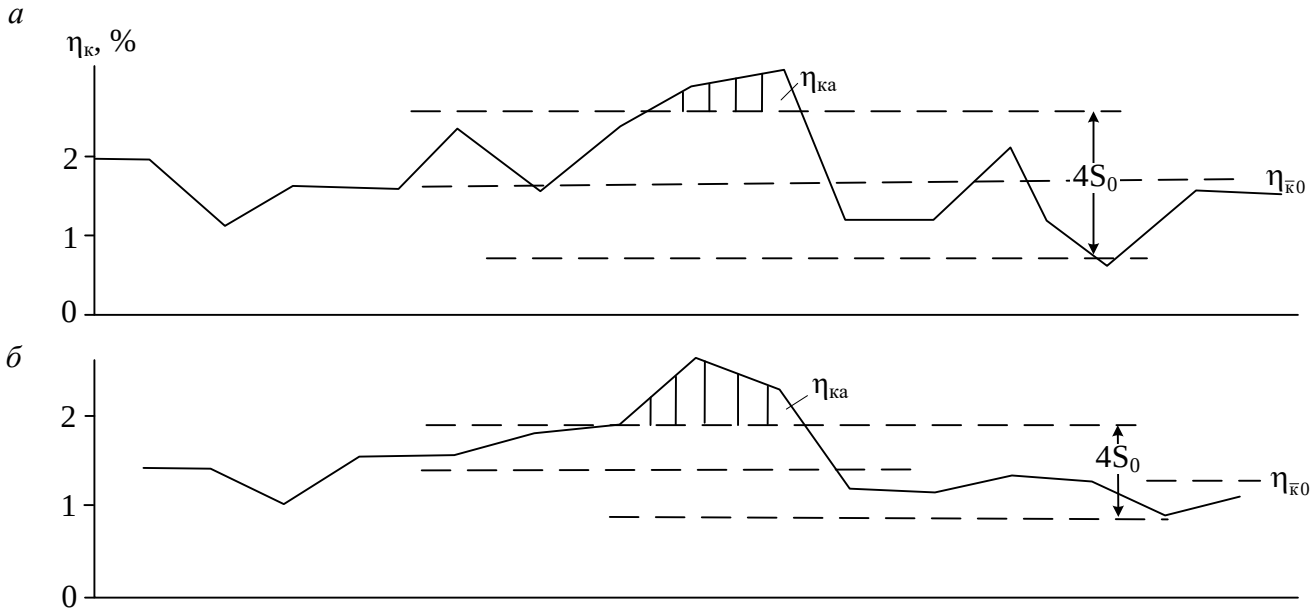


Рис. 21. Результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости $\eta_к$ по данным измеренного поля (график *а*) и после его сглаживания (график *б*)

После сглаживания исходного графика $\eta_к$ по 5 точкам (график *б*), фоновые значения находятся в пределах 1-2 % при среднем 1,5 %, а аномальные значения остаются близкими к 3 %. Заметно, что на сглаженном графике аномалия проявляется более отчетливо. Этот эффект подтверждается и вычислением показателя контрастности, который становится близким к 6, то есть увеличивается в 2 раза относительно первоначального значения.

В инструкциях по ряду полевых методов к достоверной (надежность 99,5 %) аномалии относятся такие совокупности значений в не менее чем 3 точках, для каждого из которых выполняется условие: $A_a/S_0 \geq 3$. Если за аномалию принимать значения в 2 раза превышающее среднеквадратическую погрешность фона, то есть $A_a/S_0 \geq 2$, то надежность выделения такой аномалии согласно теории вероятности составляет 95 %. Оценивая надежность с точки зрения энергетического отношения аномалия/помеха, получим для последнего условия 82 %.

При выделении геофизических аномалий в общем случае проводится разделение региональных и локальных аномалий, отличающих-

ся областью их проявления. Наилучшие условия разделения этих аномалий существуют в случае резкого их различия по размерам и интенсивности. В зависимости от целевой задачи подавляется либо одна либо другая составляющая геофизического поля. Нередко интерес представляют как региональные аномалии, отражающие крупные структурные особенности геологической среды, так и локальные аномалии, которые связаны с влиянием мелких геологических тел, например рудных залежей.

Выделение региональных аномалий проводится на основе сглаживания наблюденного поля, предполагающего существенное ослабление влияния помех и локальных объектов. К основным способам выделения региональных аномалий относятся следующие.

1. Усреднение поля вдоль профилей или по площади. Часто используют поточечное усреднение в пределах круга определенного радиуса.

2. Тренд-анализ, под которым понимается процедура аппроксимации эмпирических данных вполне определенными функциями, аргументами которых являются координаты точек наблюдения. Аппроксимация может осуществляться с помощью алгебраических полиномов, как правило, невысоких степеней. При кусочно-полиноминальной аппроксимации применяют сплайн-функции, представляющие кубические полиномы для ограниченных участков площади.

3. Пересчет в верхнее полупространство позволяет существенно ослабить влияние небольших геологических неоднородностей и упростить процесс интерпретации региональной аномалии, которая проявляется более отчетливо.

Локальные аномалии определяют после исключения из измеренного поля региональной составляющей. Для того чтобы подчеркнуть существование локальной аномалии осуществляют пересчет измеренного поля в нижнее полупространство и вычисляют производные высшего порядка. Это позволяет усилить высокочастотную составляющую, связанную с геологическими телами небольших размеров.

Пример совместного проявления региональной и локальных аномалий в поле силы тяжести в районе медноколчеданного месторождения показан на рис. 22. На фоне плавного почти линейного уменьшения поля Δg в краевой части крупного массива базальтов

(основные породы с повышенной плотностью) фиксируется локальная отрицательная аномалия (условно первого порядка), связанная с субинтрузией гранитоидов (породы кислого состава менее плотные по сравнению с базальтами). Региональная аномалия от массива базальтов показана на рис. 22, *б* штриховой линией ($\Delta g_р$). В висячем боку субинтрузии гранитоидов внутри зоны гидротермально измененных пород (метасоматиты с минимальной для разреза плотностью) находится рудная залежь (с максимальной для разреза плотностью). Ореол метасоматитов создает отрицательную аномалию (условно второго порядка), на фоне которой проявляется локальная положительная аномалия (условно третьего порядка) от рудной залежи. Для наглядности все три локальные аномалии (1, 2, 3) изображены отдельно на рис. 22, *в*.

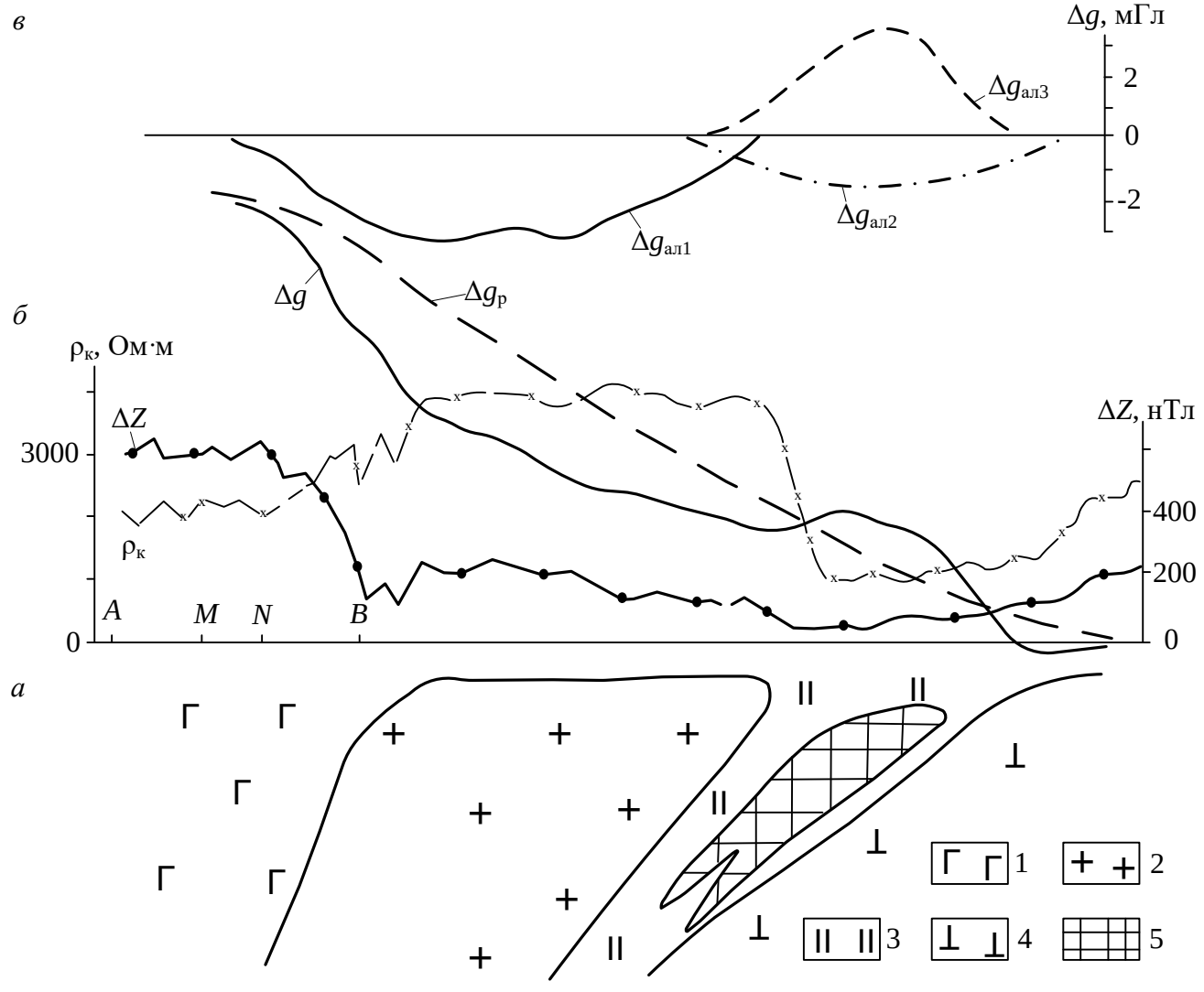


Рис. 22. Пример сложной аномалии силы тяжести, которая в совокупности с данными магниторазведки и электроразведки отражает присутствие в разрезе медноколчеданного месторождения комплекса геологических тел:

а – геологический разрез: 1 – базальты; 2 – гранитоиды; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – туфы; 5 – руды; *б* – графики измеренного поля силы тяжести (Δg) и его регионального фона($\Delta g_{р)}$, магнитного поля (ΔZ), удельного сопротивления ($\rho_к$); *в* – графики локальных аномалий поля силы тяжести, отражающие присутствие в разрезе субинтрузии ($\Delta g_{ал1}$), зоны гидротермально измененных пород ($\Delta g_{ал2}$), рудной залежи ($\Delta g_{ал3}$)

О существовании нескольких локальных аномалий поля силы тяжести можно предположить по данным других геофизических методов. Так присутствие субинтрузии гранитоидов, которым соответствует обширная отрицательная локальная аномалия гравитационного поля (1), отчетливо фиксируется ступенчатым понижением магнитного поля относительно уровня, характерного для базальтов, и увеличением в этом районе кажущегося сопротивления. Выход к дневной поверхности зоны гидротермально измененных пород, которому соответствует локальная отрицательная аномалия (2), совпадает с областью минимальных значений магнитного поля и кажущегося сопротивления, что является довольно типичным признаком для ореолов околорудных изменений. Существование в этой же области слабой локальной положительной аномалии силы тяжести (3) является следствием влияния рудных масс с аномально высокой плотностью. Слабость влияния рудной залежи связано с тем, что над ее верхней кромкой залегают низкоплотные породы (метасоматиты и кора выветривания), а также эффектом наложения положительной аномалии от руды на более обширную отрицательную аномалию от зоны гидротермалитов.

Необходимо подчеркнуть важность разделения аномалий силы тяжести, поскольку результаты их количественной интерпретации позволяют сформировать представления о пространственных контурах геологических тел, создающих эти аномалии. Данные же большинства других методов имеют значение для картирования неоднородностей в верхней части разреза.

Принципы комплексной интерпретации геофизических аномалий

Цель комплексной интерпретации данных различных методов состоит в том, чтобы выполнить классификацию геологических объектов, создающих достоверные аномалии, уделяя первоочередное внимание перспективным аномалиям.

Использование эталонных аномалий. Комплексная интерпретация может осуществляться с помощью как аналитических, так и вероятностно-статистических методов. Первым этапом интерпретации

является построение рабочих (интерпретационных) физико-геологических моделей, которые позволяют задать некоторые априорные рамки и сузить неопределенность решения обратной задачи, выбрав наиболее вероятные варианты. В аналитических способах комплексной интерпретации геологические объекты и их параметры для ФГМ задаются в виде начальных приближений итерационного цикла решения обратной задачи. Интерпретатор должен представлять вид типичных аномалий, характерных для некоторого класса моделей геологических тел, подходящих для условий изучаемой среды. При этом учитываются ограничения, которые вытекают из представлений об априорной ФГМ и данных, полученных применявшимися геологическими (результаты проходки канав, шурфов, скважин), геохимическими и геофизическими методами.

Примером приемов решения обратных задач на участке проведения съемки методом заряда служит геологический разрез, построенный на основе комплексной интерпретации аномального поля заряда с учетом данных измерений магнитного поля и проходки скважин глубокого и картировочного бурения (рис. 5, *б*). При интерпретации аномального поля заряда использован набор некоторых теоретических аномалий электрического потенциала над типовыми объектами геологических разрезов рудных полей, приведенный на рис. 23.

Пособием по интерпретации локальных аномалий комплекса геофизических методов может служить таблица-схема, представляющая подборку аномалий от тел простейшей геометрической формы с аналитическими выражениями для вычислений полей в некоторых характерных точках (приложение 1).

Традиционными являются приемы визуального сопоставления аномалий, выделяемых по различным измеренным физическим полям. При анализе аномалий ориентируются по совпадению определенных признаков на установлении меры аналогии исследуемых и эталонных объектов. В качестве эталонов используют геологические тела, детально изученные как геофизическими, так и геологическими методами, подтвержденные бурением и горными выработками.

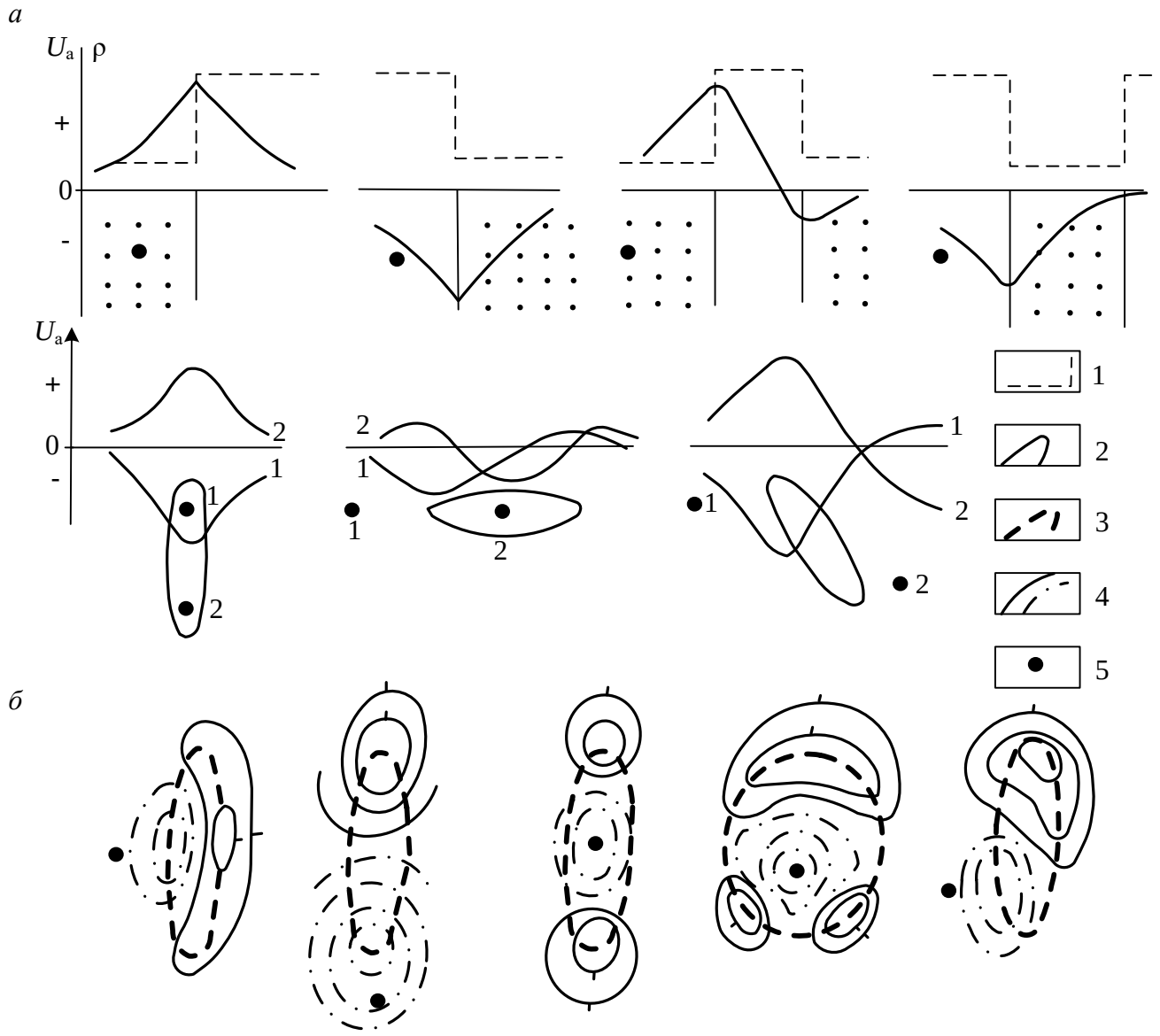


Рис. 23. Графики (*а*) и планы изолиний (*б*) аномального электрического потенциала (U_a) поля заряда в присутствии пластовых и сфероидальных тел:
1 – графики удельного сопротивления (ρ) слоистых сред; 2, 3 – погруженный сфероидальный проводник в разрезе (2) и плане (3); 4 – изолинии положительного (сплошные линии) и отрицательного (штрихпунктирные линии) аномального потенциала; 5 – заряд

Фактически задача подготовки к комплексной интерпретации сводится к созданию физико-геологических моделей типовых объектов-эталонов. Например, составляется сводка признаков, по которым могут быть откартированы тектонические нарушения. К их признакам обычно относят: отрицательные аномалии гравитационного, магнитного полей, кажущегося сопротивления, связанные с разрыхлением пород в зоне нарушения, увеличением над ним коры выветривания. В ряде случаев нарушениям в плане соответствуют узкие полосы

резкого изменения поля, связанного с различием свойств двух блоков, разделенных разрывом. Для тектонических нарушений характерна линейность в проявлении отмеченных признаков. В качестве эталонных аномалий гравитационных и магнитных полей, фиксирующих проявления разрывной тектоники, может служить подборка, приведенная на рис. 24. Признаки разрывов выражаются в сгущении изолиний, смене ориентировки большой группы локальных аномалий, повторяющимся изломом аномалий, наличием линейно вытянутых аномалий большой протяженности, смещении осей локальных аномалий или характерные деформации изолиний в определенном направлении. Все эти особенности аномальных полей можно видеть на рис. 24.

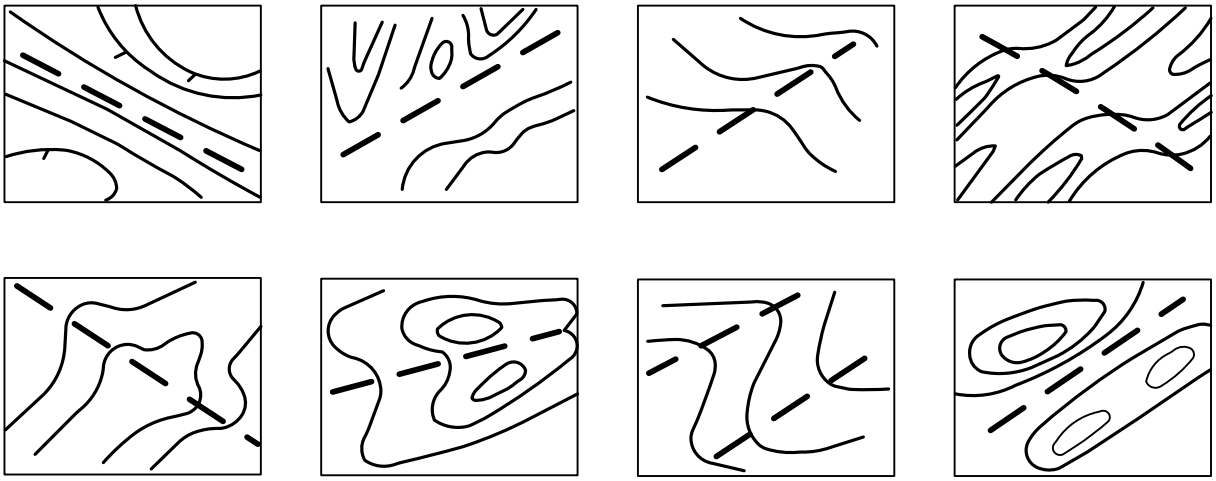


Рис.24. Примеры проявления тектонических нарушений (штриховые линии) в аномальных гравитационном и магнитном полях (по Г. Г. Кассину)

Разработаны специальные программы, позволяющие выделять и классифицировать комплексные аномалии в автоматическом режиме на основе некоторого набора эталонных образов типовых объектов. Результатом компьютерных способов распознавания образов являются прогнозные карты изученной территории с разбиением на несколько классов, характеризующихся различным набором признаков и имеющие определенное геологическое значение [2].

Одним из путей решения задачи диагноза геофизических аномалий является вычисление функций комплексного показателя (ФКП) θ, интегрировано обобщающих результаты измерений несколькими методами одновременно. Они служат для: 1) свертывания информации, полученной несколькими методами исследования; 2) приведения

наблюдений к уровню нормального поля; 3) выделения слабых аномалий; 4) разделения выявленных комплексных аномалий на перспективные и неперспективные [1].

Техника вычисления ФКП рассмотрена в разделах 3 и 5, а пример ее использования рассмотрен на материалах, послуживших основой при построении ФГМ для поисков месторождений урана (см. раздел 3, рис. 6). Полезность определения ФКП продемонстрирована также на рис 19.

Приводимое на рис. 6 раздельное вычисление ФКП для данных гравимагнитных исследований и поисковых методов электроразведки и радиометрии связано с различием задач, которые ставятся перед этими комплексами. С помощью первых методов можно картировать выходы к дневной поверхности потенциально рудоносных сланцев и подстилающих карбонатных отложений. Как показано на рис.6, эта задача решается успешно и выявляемые аномалии ФКП (Θ_1) являются перспективными и локализуют участки для детальных поисков.

В случае применения поискового комплекса обнаружение аномалий ФКП для этого комплекса (Θ_2), подобной той, которая изображена на рис. 6, позволяет отнести ее к перспективным и рассматривать как признак присутствия уранового оруденения.

Количественная комплексная интерпретация наиболее эффективна для сильных аномалий, то есть при больших значениях показателей контрастности. Данные совокупности методов позволяют более надежно установить возможные ограничения, которые необходимо учитывать при применении интерпретационного аппарата математической физики. Наиболее успешным является метод подбора параметров аномалиеобразующих объектов, позволяющий получить решение прямой задачи, соответствующее эмпирическим данным об изучаемых полях.

Прежде чем перейти к построению детальной ФГМ осуществляется экспресс-интерпретация полей путем оценочных вычислений ожидаемых для модели аномалий и их сопоставления с реально измеренными полями на участке работ. Для этих целей можно воспользоваться уже упоминавшейся выше таблицей-схемой аномалий для тел правильной геометрической формы. Таблица дает представление о виде геофизических аномалий и их амплитуде при известных форме, размерах, условиях залегания и аномальности физических (плотност-

ных, магнитных, электрических) свойств большой группы объектов, моделирующих геологические тела.

Способ подбора. Для уточнения форм аномалиеобразующих геологических тел используется способ подбора, который предполагает отыскание их границ по полям для отдельных методов с учетом ограничений, вытекающих из данных других методов. Например, при интерпретации сложных гравиметровых аномалий по профилю необходимо предварительно определится с уровнем региональной аномалии и создающей ее неоднородностью, а также с количеством и видом локальных аномалий, подлежащих количественной интерпретации. Существенную помощь при этом могут оказать данные других геофизических методов. Например, как это показано по материалам рис. 22, можно обосновать возможность выделения локальных аномалий от нескольких объектов и высказать предположения об их геологической природе.

По данным электрозондирования часто удается установить положение кровли коренных горных пород и вероятные физические характеристики скрытых под наносами геологических тел (на основе корреляционных зависимостей между электрическими и другими физическими свойствами). Часто по аномалиям методов естественного электрического поля и вызванной поляризации проявляются участки рассеянной сульфидной минерализации, типичные для околорудноизмененных пород. Пример подобных аномалий приведен в разделе 3 на рис. 10. Естественно, что имеет смысл геометризовать в пространстве эти участки, данные о выходах к дневной поверхности которых устанавливаются электроразведкой. Особый интерес представляет задача определить положение в пространстве рудных залежей, признаки существования которых заметны в аномальном поле силы тяжести и могут проявиться по данным специальных методов, например метода переходных процессов.

Для реализации способа подбора в рамках каждого метода разработаны разнообразные программы. Например, применительно к методу ВЭЗ разработан набор программ, как для ручной, так и машинной (компьютерной) интерпретации. Подбор сводится к сопоставлению наблюденных кривых с теоретически рассчитанными графиками для горизонтально-слоистой среды с известными параметрами (удельное сопротивление и мощность) слоев. Для снижения неоднозначности интерпретации используют данные о сопротивлении не-

которых опорных слоев или точно установленных границах на отдельных участках работ. Наиболее достоверные данные получают при наличии скважин.

Классификация геологических объектов на принципе самообучения

Этот принцип позволяет по совокупности геофизических данных разделить площадь исследований на некоторое число однородных (по совокупности признаков) классов (объектов), причем их геологическая природа может до определенного времени оставаться неясной. Для установления природы таких классов требуется выполнить геологические исследования (анализ проб, проходка скважин и др.), однако объем заверочных исследований невелик. Достаточно проанализировать данные по типичным представителям классов.

Примером реализации такого подхода могут служить материалы петрофизической классификации и картирования горных пород по данным измерений физических полей в скважинах [10]. Так при разведке медноколчеданного месторождения Осеннее на Южном Урале было установлено, что рудовмещающая структура представляет сложно построенную вулкано-тектоническую депрессию, осложненную крутопадающими и межслоевыми нарушениями. Всего в разрезе месторождения выделялось около десятка разновидностей литотипов [11], представлявших сложный комплекс геологических тел. Определенные сложности возникали с установлением наименования пород, подвергшихся гидротермальному метасоматозу, а также с определением роли субвулканических липарито-дацитов в формировании месторождения.

Для классификации геологических объектов на месторождении были привлечены данные каротажа естественной радиоактивности (ГК), которые, как известно, наиболее тесно связаны с литологическими особенностями горных пород. По этому свойству легче всего определить тип породы, подвергшейся эпигенетическим преобразованиям и принявшей черты метаморфизованной разновидности. Построенная по результатам статистической обработки диаграмм ГК, по методике изложенной в разделе 3, дифференциальная кривая распределения радиоактивности изображена на рис. 25. Из этой кривой следует, что все рудовмещающие породы можно разделить на три статистически однородные совокупности (А, Б, В) и определить границы

между ними (9 и 25 мкР/час) для построения петрорадиоактивных разрезов.

Результаты анализа химического состава показали, что радиоактивность рудовмещающих пород возрастает пропорционально увеличению кремнезема (47,6, 57,3, 65,7 %) и калия (1,9, 3,3, 4,8 % K_2O) и положительно коррелируется с повышением кислотности пород, которая в свою очередь отражает последовательность поступления в изучаемый массив магматических инъекций. Построенные петрофизические разрезы значительно проще геологических разрезов и наглядно отражают структурные особенности и историю формирования месторождения. Для этого на петрорадиоактивный разрез наложены контуры зон, отражающие степень сульфидной минерализации пород, установленные в результате статистической обработки диаграмм метода электродных потенциалов (МЭП). Данные метода фиксируют степень рудной концентрации (>0,65, 0,65-0,3,<0,ш3), соответствующей уровню сплошных руд (класс Р), сильно измененных и сульфидизированных пород (класс С) и слабо измененных околорудными процессами участков разреза.

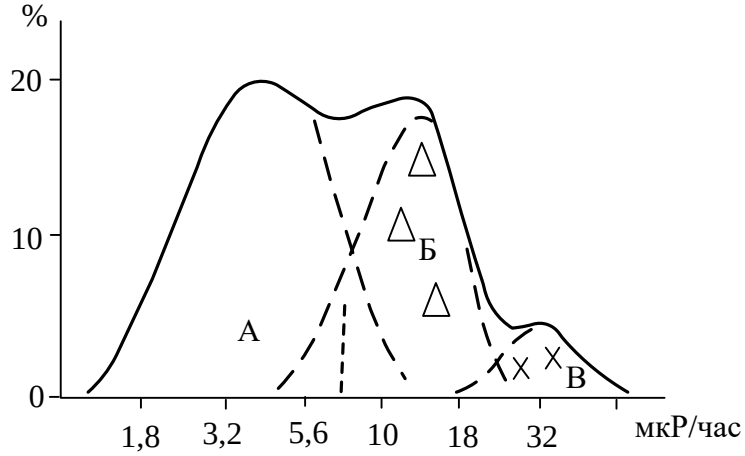


Рис. 25. Дифференциальная кривая распределения гамма-активности рудовмещающих пород медноколчеданного месторождения Осеннее

Результаты классификации геологических объектов по данным измерений двух геофизических полей на принципах самообучения с помощью статистического способа позволили построить петрофизические разрезы, на которых породы разделены на обоснованное огра-

ниченное число классов, отражающих главные черты рудоносной структуры.

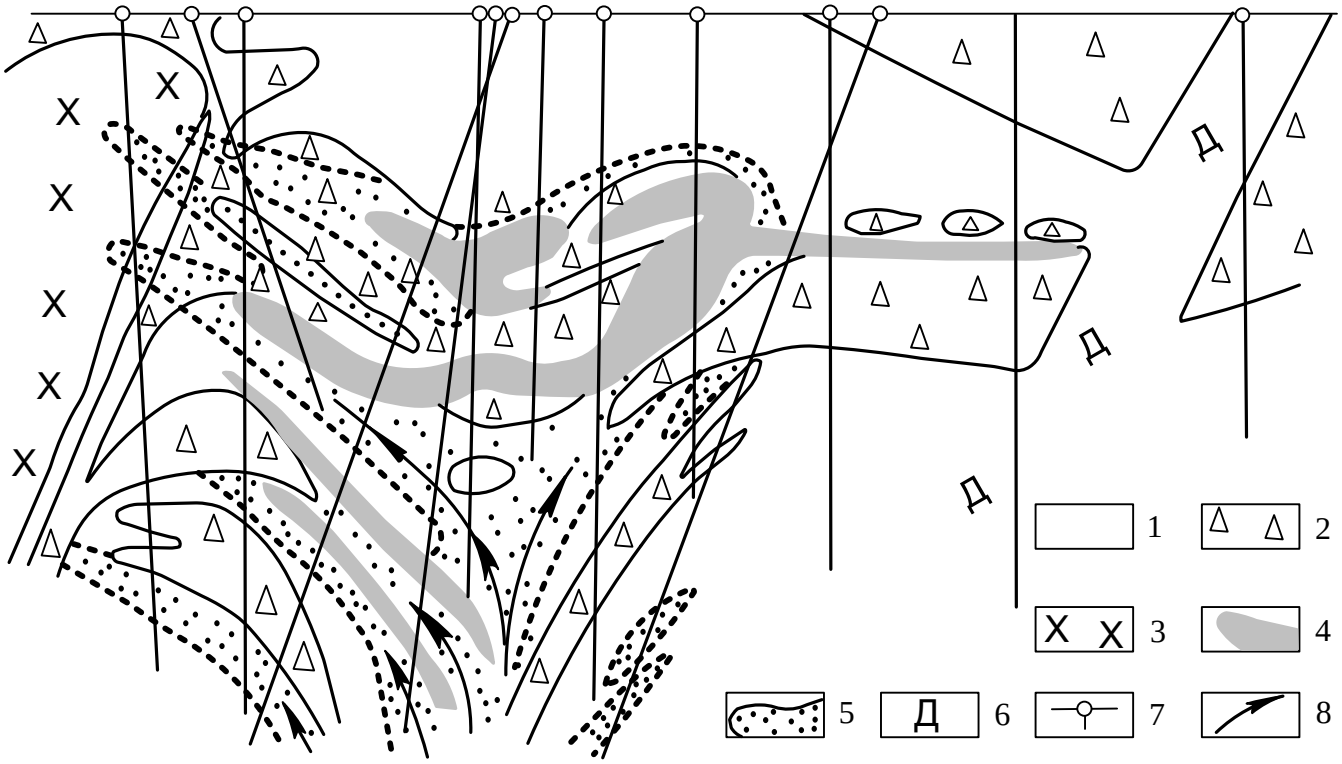


Рис. 26. Петрофизический разрез (классификация по двум геофизическим полям: ГК и МЭП) медноколчеданного месторождения Осеннее:
1, 2, 3 – петрорадиоактивные группы пород А, Б и В, соответственно; 4 – сплошные руды (класс Р); 5 – богатая сульфидная минерализация (класс С); 6 – дайка основных пород; 7 – скважины; 8 – предполагаемые пути движения рудоносных растворов

Один из таких разрезов приведен на рис. 26. Из него видно, что в массив, сложенный комплексом вулканогенных пород основного состава (комплекс пород класса А с низкой радиоактивностью) на завершающей стадии активного вулканизма по субвертикальной тектонической зоне внедрились субинтрузии кислых пород (липарито-дацитовые порфиры – класса Б по радиоактивности). Эти породы имеют силлобразную форму с корнями, уходящими на глубину. На заключительной стадия вулканизма ранее формированная толща была прорвана интрузией (сиенит-диориты класса В с наибольшей радиоактивностью). Поступление рудоносных растворов происходило по каналу уже пройденному субинтрузиями липарит-дацитов, кото-

рые перекрыли сквозную тектоническую зону, образовав экранированную структуру с участками повышенной проницаемости на контактах кислых и основных пород. Эти участки брекчирования и явились теми самыми резервуарами, в которых накапливались руообразующие смеси.

Контуры зон, отражающих классы пород с высокой и умеренной степенью сульфидной минерализации (классы Р и С, соответственно) фиксируют картину проникновения рудных растворов с глубоких горизонтов вверх по узкому субвертикальному каналу. Очевидно, что в верхней части разреза происходило распределение этих растворов по экранированным пологим участкам брекчирования на контактах вулканогенных и субинрузивных пород, где увеличивалась концентрация рудного вещества. По данным комплексной интерпретации геофизических полей медноколчеданное месторождение Осеннее является типичным представителем корневых рудных полей II рода, геологические модели которых рассмотрены в разделе 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. *Вахромеев Г. С.* Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1978. 152 с.

2. *Комплексирование методов разведочной геофизики*: Справочник геофизика / под ред. В. В. Бродового, А. А. Никитина М.: Недра, 1984, 384 с.

3. *Никитин А. А., Хмелевской В. К.* Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. Тверь: ООО Изд. «ГЕРС», 2004, 294 с.

Дополнительной

4. *Виноградов А. М.* Геополя и колчеданы Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004, 187 с.

5. *Геофизические методы разведки рудных месторождений*. / В. В. Бродовой, В. Д. Борцов, Л. Е. Подгорная и др. под ред. В. В. Бродового. М.: Недра, 1990, 296 с.

6. *Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых* / под ред. П. В. Вишневского, Г. С. Вахромеева, И. Л. Шаманского. М.: Недра, 1984, 223 с.

7. *Геофизические поиски рудных месторождений* / под ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Каз.ФВИРГ, 1970, 610 с.

8. *Кассин Г. Г.* Геофизические методы на региональном этапе геологоразведочного процесса. Екатеринбург: УГГА, 1996, 104 с.

9. *Рудные месторождения СССР* / под ред. В. И. Смирнова. Том 3. М.: Недра, 1974, 392 с.

10. *Сапожников В. М.* Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород. / Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 11-19.

11. *Сапожников В. М., Голиков Ю. В., Берг Л. Я.* Опыт объемного петрофизического картирования рудовмещающих пород месторождения Осеннее / Методика поисков и разведки глубокозалегаю-

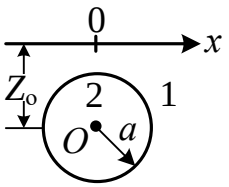
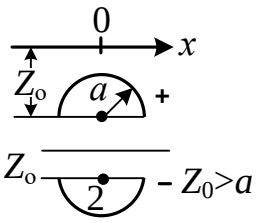
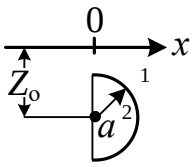
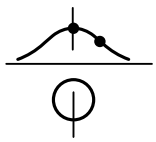
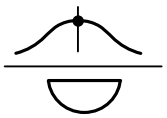
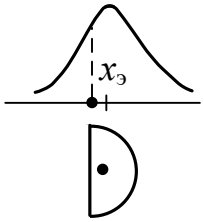
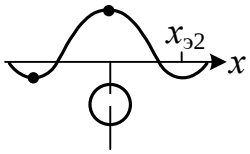
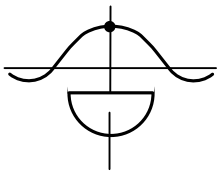
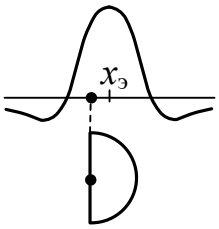
щих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 20-27.

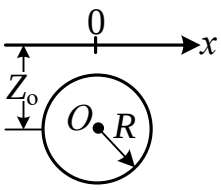
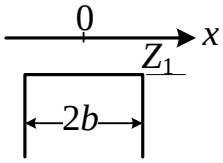
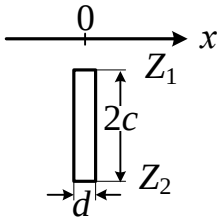
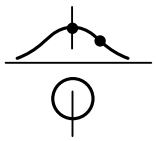
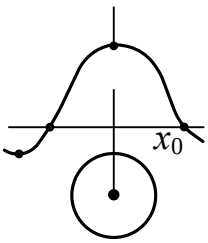
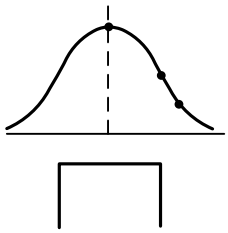
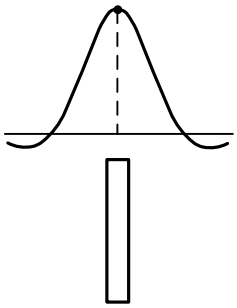
12. *Сапожников В. М., Шевченко В. Г.* Теория и методика электроразведки в градиентных средах. Л.: Недра, 1992, 135 с.

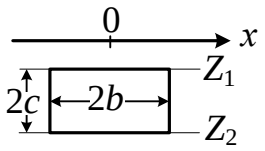
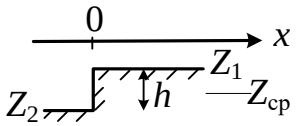
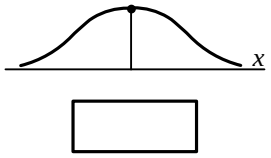
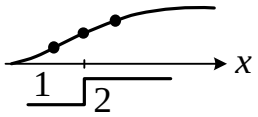
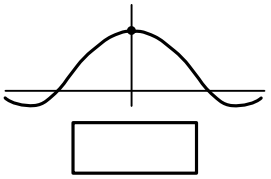
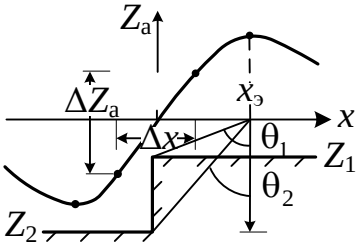
13. *Электроразведка рудных полей методом заряда* / М. В. Семенов, В. М. Сапожников, М. М. Авдевич, Ю. В. Голиков. Л.: Недра, 1984, 216 с.

Приложение 1

Сводка формул для вычисления значений аномальных полей в характерных точках

1		Ш	$ПШ_Г$	$ПШ_В$
2	разрез			
3	$\Delta g_a^э$	$\frac{4G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_{1/2} = 0{,}77Z_0$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}\left(1 \pm \frac{3a}{4Z_0}\right)$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
4	$Z_a^э$	$\frac{8\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_0 = \pm Z_0\sqrt{2}$ $x_{э2} = \pm 2Z_0$ $Z_{a2}^э = -0{,}036Z_a^э$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}\left(1 \pm \frac{9a}{8Z_0}\right)$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
5	$\rho_к^э$ $\eta_к^э$	$\frac{2к_1\rho_1 a^3}{Z_0^3}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)a^3}{5\mu+1}\times$ $\times\left(\frac{1}{Z_0^3} \pm \frac{9a}{8Z_0^4}\right)$	$\frac{\rho_1(\mu-1)a^3}{(\mu+2)Z_0^3}$

1		Ц	МП	ТП
2	разрез			
3	$\Delta g_{\text{а}}^{\text{э}}$	$\frac{2G\pi R^2\Delta\sigma}{Z_0^2}$ $x_{1/2}=\pm Z_0$ 	$\pm\infty$	$2Gd\Delta\sigma\ln\frac{Z_2}{Z_1}$ $x_{1/2}=\pm\sqrt{Z_1Z_2}$ 
4	$Z_{\text{а}}^{\text{э}}$	$\frac{2\pi R^2 J}{Z_0^2}$ $x_{\min}=\pm Z_0\sqrt{3}$ $x_0=\pm Z_0$ 	$4J\,\text{arctg}\frac{b}{Z_1}$ $x_{1/2}=\pm\sqrt{b^2+Z_1^2}$ $x_{1/4}=\pm\sqrt{x_{1/2}^2+2Z_1\lvert x_{1/2}\rvert}$ 	$2J\,d\left(\frac{1}{Z_1}-\frac{1}{Z_2}\right)$ 
5	$\rho_{\text{к}}^{\text{э}}$ $\eta_{\text{к}}^{\text{э}}$	$\frac{2\kappa\rho_1 R^2}{Z_0^2}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)}{\pi}\text{arctg}\frac{b}{Z_1}$	$\frac{\rho_1 d}{\pi m}\left(\frac{1}{Z_1}-\frac{1}{Z_2}\right)$ $m=\frac{\mu}{\mu-1}-\frac{c}{b+c}$ $d=2b$

1		Пр	У
2	разрез		
3	$\Delta g_{\text{а}}^{\text{э}}$	$2G\Delta\sigma\left\{b\ln\frac{Z_2^2+b^2}{Z_1^2+b^2}+\right.$ $\left.+2\left(f_2-f_1\right)\right\}$ $f_i=Z_i\,\text{arctg}\frac{b}{Z_i}$ 	$2\pi Gh\Delta\sigma$ $x_{\text{э}}\to\infty$ $x_{1/2}=0$ $x_0\to-\infty$ $x_{1/4}=-Z_{\text{ср}}$ $x_{3/4}=Z_{\text{ср}}$ 
4	$Z_{\text{а}}^{\text{э}}$	$4J\left(\text{arctg}\frac{Z_2}{b}-\text{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ 	$Z_{\text{а}}=2J\left(\theta_1-\theta_2\right)$ $\theta_{1,2}=\text{arctg}\frac{x}{Z_{1,2}}$ $x_0=0$ $x_{\text{э}}=\pm\sqrt{Z_1Z_2}$ $x=0\quad\Delta Z_{\text{а}}/\Delta x=\frac{2J}{Z_1}$ 
5	$\rho_{\text{к}}^{\text{э}}$ $\eta_{\text{к}}^{\text{э}}$	$\frac{2\rho_1}{\pi m}\left(\text{arctg}\frac{Z_2}{b}-\text{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ $m=\frac{\mu}{\mu-1}-\frac{c}{b+c}$	$\rho_{\text{ка}}=\rho_1\frac{\left(\mu-1\right)\left(\theta_1-\theta_2\right)}{\mu\pi}$ при $\rho_2=\rho_1$ $\eta_{\text{ка}}=\left(\eta_2-\eta_1\right)\frac{\theta_1-\theta_2}{\pi}$

Пояснения

Аномальные геофизические поля: гравитационное (Δg_a), магнитное (Z_a), удельное сопротивление ($\rho_{ка}$) и поляризуемость ($\eta_{ка}$).

Тела: шар (Ш), полушары вертикальный ($ПШ_В$) и горизонтальный ($ПШ_Г$), цилиндр (Ц), мощный пласт (МП), тонкий пласт (ТП), прямоугольная прямая призма (ПР), вертикальный уступ (У).

Размерности: линейные величины в м, $\Delta\sigma$-избыточная плотность в г/см^3; $G=6.67\cdot10^3$ внесистемный вариант гравитационной постоянной, позволяющий получать Δg_a в мГл.; $\Delta\chi$-избыточная магнитная восприимчивость в системе СГС ($\Delta\chi_{СГС}=4\pi\cdot\Delta\chi_{СИ}$); J_i -интенсивность вертикального намагничивания: $J_i=\Delta\chi\cdot Z_н$; $Z_н$ – нормальное поле Земли: $Z_н\approx0.5$ Э; 1 Эрстед=10^5 нТл.; artg x в радианах; ρ_1 и ρ_2 – удельное сопротивление вмещающей среды и тела, соответственно; $\mu=\rho_2/\rho_1$; $K=(\mu-1)/(\mu+1)$; $K_1=(\mu-1)/(2\mu+1)$; $\rho_к=\rho_1+\rho_{ка}$; $\eta_к=1-\rho_к/\rho_к^*$; $\rho_1^*=\rho_1/(1-\eta_1)$; $\rho_2^*=\rho_2/(1-\eta_2)$; $\mu^*=\rho_2^*/\rho_1^*$; $\rho_к^*=\rho_1^*+\rho_{ка}^*$; $\eta_{ка}=\eta_к-\eta_1$; графики $\rho_{ка}$ и $\eta_{ка}$ подобны графикам $Z_а$; $x_э=0$ (кроме уступа).

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

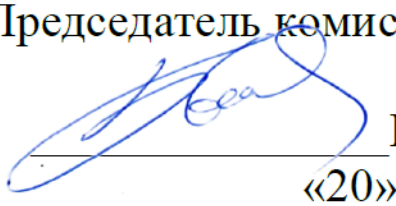
Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 1
Расчет доз внешнего и внутреннего облучения

Екатеринбург
2020

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 1
Расчет доз внешнего и внутреннего облучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Щапов В.А., старший научный сотрудник
Института геофизики УрО РАН, д-р геол.-мин. наук

Александрова Ж.Н.

А46 Лабораторный практикум по радиационной безопасности: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине "Радиационная безопасность" для студентов специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки» очной и заочной формы обучения; Часть 1. Расчет доз внешнего и внутреннего облучения / Ж. Н. Александрова; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 32 с.

В учебно-методическом пособии кратко изложены сведения об ионизирующих излучениях и их основных свойствах, рассмотрено воздействие ионизирующего излучения на ткани организма, приведены специальная терминология по вопросам радиационной безопасности и значения предельно допустимых уровней облучения, описана методика расчета доз при внешнем и внутреннем облучении. Пособие содержит руководства к выполнению трех лабораторных работ по расчету доз облучения в различных ситуациях.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся специализациям «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» по специальности «Технология геологической разведки»

© Александрова Ж.Н., 2020
© Уральский государственный
горный университет, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..….. 4

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ……...……. 5

1.1. Ионизирующие излучения и их свойства ……...…… 5

1.2. Специальная терминология по вопросам радиационной безопасности ..…. 9

1.3. Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма ……..… 12

1.4. Расчет доз облучения ……... 17

1.5. Предельно допустимые уровни облучения ……...…… 21

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ……..... 22

2.1. Определение предельно допустимого времени пребывания на различных расстояниях от источника гамма-излучения ……...…. 22

Задание ……..… 22

Материалы и оборудование ……...… 22

Порядок выполнения работы ……..… 22

Контрольные вопросы …… 24

Содержание отчета ……..…… 24

2.2. Определение дозы внутреннего облучения при попадании радиоактивного вещества внутрь организма …… 25

Задание ……..… 25

Материалы и оборудование ……...… 26

Порядок выполнения работы ……..… 26

Контрольные вопросы …… 27

Содержание отчета ……..…..27

2.3. Определение дозы внешнего облучения при работе на территориях с повышенной радиоактивностью ……...…. 27

Задание ……..…… 27

Материалы и оборудование ……...… 29

Порядок выполнения работы ……..…… 29

Контрольные вопросы ……..……...… 31

Содержание отчета ……...… 31

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ …….. 32

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих отраслях практической деятельности человека применяются радиоактивные вещества и ионизирующие излучения. Расширяется применение радиоактивных изотопов и источников ионизирующих излучений в промышленности, медицине, науке, технике, геологоразведочной отрасли. В условиях роста количества работающих с ионизирующими излучениями вопросам радиационной безопасности должно придаваться большее значение.

Радиационная безопасность – это составная часть экологической безопасности человека. Обеспечение экологической безопасности при обращении с радиоактивными веществами предполагает такое обращение с ними, при котором наступление вредных последствий для здоровья и жизни человека было бы невозможно.

"Граждане Российской Федерации, иностранные граждане и лица без гражданства, проживающие на территории Российской Федерации, имеют право на радиационную безопасность. Это право обеспечивается за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения выше установленных норм, правил и нормативов, выполнения гражданами и организациями, осуществляющими деятельность с использованием источников ионизирующего излучения, требований к обеспечению радиационной безопасности" (статья 22 Федерального закона «О радиационной безопасности населения»).

Радиационная безопасность достигается совокупностью мер: правовых, технических, экономических, воспитательных и т.д. Ряд мер находится в ведении государства и специальных служб. Но многое зависит непосредственно от лиц, работающих с радиоактивными веществами – от их теоретических знаний и практических навыков при обращении с источниками ионизирующих излучений. Поэтому обучение персонала в области обеспечения радиационной безопасности приобретает важное значение.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Ионизирующие излучения и их свойства

Ионизация. Ионизация – это процесс образования разделенных электрических зарядов. Процесс образования положительного иона состоит в вырывании электрона с электронной оболочки нейтрального атома, для чего необходимо затратить некоторую энергию. Для большинства атомов эта энергия лежит в пределах от 9 до 30 эВ. Если энергия, переданная атому, меньше энергии, необходимой для вырывания электрона, то ионизации не происходит. В этом случае может произойти возбуждение атома. Возбужденный атом обладает избытком энергии, которая освобождается в виде излучения (обычно ультрафиолетового) при возвращении атома в нормальное состояние.

Электрон, вырванный из атома в результате ионизации, как правило, не остается долго в свободном состоянии, он “прилипает” к нейтральному атому или нейтральной молекуле, образуя отрицательный ион. Таким образом, в обычных условиях ионы образуются парами. Возникшие ионы исчезают в результате их рекомбинации, т.е. процесса воссоединения отрицательных и положительных ионов, в котором образуются нейтральные атомы или молекулы.

Число ионов, исчезающих из единицы объема среды в единицу времени в результате рекомбинации q_α, пропорционально концентрации положительных и отрицательных ионов:

$$q_\alpha = \alpha n_1 n_2, \qquad (1)$$

где n_1 – число положительных ионов в 1 см^3, n_2 - число отрицательных ионов в 1 см^3, α - коэффициент рекомбинации, см^3/с (для малых ионов в воздухе при нормальных условиях α=1,6·10^{-6} см^3/с).

Ионизирующие излучения. Ионизирующими называются излучения, которые прямо или косвенно способны ионизировать среду. К ним относятся рентгеновское и γ-излучение, а также излучения, состоящие из потоков заряженных или нейтральных частиц, обладающих достаточными для ионизации энергиями.

Радиоактивные препараты обычно испускают ионизирующие α- и β-частицы, γ-лучи и нейтроны. Кроме перечисленных видов излучений могут быть использованы потоки протонов, тяжелых ядер, а также частицы, возникающие при различных ядерных реакциях.

Альфа-частицы — это положительно заряженные ядра атомов гелия. Обладают малой проникающей способностью. Оценить пробег α-частиц в воздухе можно с помощью следующей эмпирической формулы:

$$R_\alpha(E) = 0{,}316 \cdot E_\alpha^{\,3/2},$$

где $R_\alpha(E)$ - пробег α-частицы в воздухе в см; E_α - энергия α-частицы в МэВ.

Наиболее проникающие α-частицы могут пройти слой воздуха при нормальном атмосферном давлении не более 11 см. В твердом веществе пробег α-частиц составляет микроны и может быть найден с помощью эмпирической зависимости *Брегга-Климэна* :

$$L_\alpha(E) = 3{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot R_\alpha(E) \cdot \frac{\sqrt{A}}{\rho},$$

где A - атомный вес, а ρ - плотность среды переноса α-частицы с начальной энергией E.

Например, в воде пробег α-частиц не превышает 150 микрон, а верхний слой отмерших клеток кожи человека (эпидермис) защищает его от внешнего α-излучения.

Альфа-частицы обладают большой ионизирующей способностью. Вследствие большой начальной энергии при столкновении с молекулами поглощающей среды α-частица на пути своего движения образует сотни тысяч пар ионов.

Бета-частицы — это поток электронов или позитронов. Их проникающая способность значительно выше, чем у α-частиц. Оценить пробег электронов в среде можно, используя следующую эмпирическую связь:

$$\begin{cases} R_m = 0{,}407 \cdot E_{\max}^{1.38} & при \quad E_{\max} \le 0{,}8\ МэВ, \\ R_m = 0{,}54 \cdot E_{\max} & при \quad E_{\max} \rangle\ 0{,}8\ МэВ, \end{cases}$$

где R_m - массовый пробег электронов в *г/см²*; E_{max} - максимальная энергия электронов в *МэВ*.

Наиболее быстрые β-частицы могут пройти слой алюминия до 5 мм. Ионизирующая способность меньше, чем у α-частиц.

Рентгеновские и γ-лучи — это электромагнитное излучение высокой энергии. Обладают большой проникающей способностью, изменяющейся в широких пределах. Ионизирующая способность значительно меньше, чем у α- и β-частиц.

Нейтроны — нейтральные частицы, обладающие большой проникающей способностью. Ионизирующая способность меньше, чем у α- и β-частиц.

Протоны — положительно заряженные ядра водорода. При одинаковой энергии с α- и β-частицами протоны занимают промежуточное положение между ними по проникающей и ионизирующей способностям.

Космические лучи — лучи, приходящие на Землю из космического пространства. До поверхности Земли космические лучи доходят значительно преобразованными в результате их взаимодействия с атмосферой. Первичные космические лучи состоят в основном из протонов и ядер тяжелых элементов. В результате их взаимодействия с воздухом атмосферы возникают новые частицы: мезоны, электроны, нейтроны и т.д. В результате взаимодействия нейтронов космического излучения с ядрами атомов азота в атмосфере постоянно образуется радиоактивный изотоп углерода – C^{14}. Радиоактивный изотоп водорода – тритий также образуется в атмосфере под действием космического излучения. Космические лучи обладают очень большой проникающей способностью.

В таблицах 1 – 3 приведены данные по прохождению α- и β-частиц и протонов в некоторых средах.

Пробеги α-частиц и полная ионизация в ткани плотностью 1 г/см^3 [4]

таблица 1

Энергия α-частиц, *МэВ*	В воздухе, *см*	В алюминии, *мкм*	В биологической ткани, *мкм*	Полная ионизация, *число пар ионов х 10^5*
4,0	2,5	16	31	1,1
4,5	3,0	20	37	1,3
5,0	3,5	23	43	1,4
5,5	4,0	26	49	1,6
6,0	4,6	30	56	1,7
6,5	5,2	34	64	1,9
7,0	5,9	38	72	2,0
7,5	6,6	43	81	2,1
8,0	7,4	48	91	2,3
8,5	8,1	53	100	2,4
9,0	8,9	58	110	2,6
9,5	9,8	64	120	2,7
10,0	10,6	69	130	2,9

Средний пробег протонов и полная ионизация в воздухе и ткани плотностью 1 *г/см^3* [3]

таблица 2

Энергия протонов, *МэВ*	Воздух, *см*	Мягкие биологические ткани, *мкм*	Полная ионизация, *число пар ионов*
1	2,3	23	9154
2	7,3	73	15841
3	14,7	147	22344
4	24,1	241	28438
5	35,5	355	34293
6	48,6	486	39901
7	64,2	642	45967
8	81,3	813	51707
9	100,4	1004	57529
10	121,1	1211	63214
15	238,0	2380	-

Максимальный пробег β-частиц в различных средах [8]

таблица 3

Энергия β-частиц, *МэВ*	В воздухе, *м*	В алюминии, *мм*	В мягкой ткани, *мм*
0,01	0,00229	0,00127	0,00247
0,5	1,601	0,837	1,77
1,0	3,936	2,059	4,38
2,0	8,732	4,593	9,84
3,0	13,411	7,741	15,30
4,0	17,858	9,841	20,60
5,0	22,281	11,889	25,80
6,0	25,156	14,259	31,00
8,0	34,377	-	41,30

1.2. Специальная терминология по вопросам радиационной безопасности

Число распадов в секунду в радиоактивном образце называется его ***активностью***. Единицу измерения активности (в системе СИ) называют беккерелем (*Бк*) в честь французского ученого Анри Беккереля, открывшего явление радиоактивности.

$$1\ Бк = 1\ распад/с$$

Кюри (внесистемная единица) - активность препарата данного изотопа, в котором в одну секунду происходит $3{,}7 \cdot 10^{10}$ актов распада.

$$1\ Ки = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ Бк$$

Концентрация радиоактивного вещества обычно характеризуется концентрацией его активности. Концентрация активности выражается в единицах активности на единицу веса (удельная активность) или на единицу объема (активная концентрация). Единицы измерения концентрации радиоактивного вещества *Бк/кг* (внесистемная единица *Ки/кг*), *Бк/л* и *Бк/м*^{3} (внесистемные единицы *Ки/л*, *Ки/м*^{3}, *эман*).

$$1\ эман = 1 \cdot 10^{-10}\ Ки/л = 3{,}7\ Бк/л$$

Повреждений, вызванных в живом организме излучением, будет тем больше, чем больше энергии оно передаст тканям. Количество переданной организму энергии называется ***дозой***.

Дозу излучения организм может получить от любого радионуклида или их смеси независимо от того, находятся ли они вне организма или внутри его (в результате попадания с пищей, водой или воздухом).

Дозы можно рассчитывать по-разному, с учетом того, каков размер облученного участка и где он расположен, один ли человек подвергся облучению или группа людей и в течении какого времени это происходило.

Поглощенная доза - количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела (тканями организма). Единица измерения в системе СИ - Грей (*Гр*).

$$1\ Гр = 1\ Дж/кг$$

Но эта величина не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе альфа излучение гораздо опаснее бета- или гамма-излучений. Если принять во внимание этот факт, то дозу следует умножить на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма. Альфа-излучение считается при этом в *20 раз* опаснее других видов излучений. Пересчитанную таким образом дозу называют ***эквивалентной дозой***. Ее в системе СИ измеряют в зивертах (*Зв*). Для рентгеновского, гамма- и бета-излучений

$$1\ Зв = 1\ Дж/кг$$

Следует учитывать также, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны, чем другие: например при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с разными коэффициентами (табл. 4). Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав по всем органам и тканям, получим ***эффективную эквивалентную дозу***, отражающую суммарный эффект облучения для организма. Она также измеряется в зивертах.

Эти три понятия описывают только индивидуально получаемые дозы. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, получен-

ные группой людей, мы получим ***коллективную эффективную эквивалентную дозу***, которая измеряется в человеко-зивертах (*чел·Зв*).

Коэффициенты радиационного риска [7]

таблица 4

Красный костный мозг	0,12
Костная ткань	0,03
Щитовидная железа	0,03
Молочная железа	0,15
Легкие	0,12
Половые железы	0,25
Другие ткани	0,30
Организм в целом	1,00

Соотношение между внесистемными единицами измерения активности и характеристик поля излучения и единицами СИ

таблица 5

Величина	Обозначения и наименования единиц		Связь между единицами
	Внесистемная	Единица СИ	
Активность	*Ки* (кюри)	*Бк* (беккерель)	1 *Ки* = $3{,}7\cdot10^{10}$ c^{-1} = $3{,}7\cdot10^{10}$ *Бк* 1 *Бк* = 1 c^{-1} = $0{,}27\cdot10^{-10}$ *Ки*
Удельная активность	*Ки/кг*	*Бк/кг*	1 *Ки/кг* = $3{,}7\cdot10^{10}$ *Бк/кг* 1 *Бк/кг* = $0{,}27\cdot10^{-10}$ *Ки/кг*
Объемная активность	*Ки/л, эман*	*Бк/м*^{3}	1 *Ки/л* = $3{,}7\cdot10^{13}$ *Бк/м*^{3} 1 *Бк/м*^{3} = $0{,}27\cdot10^{-13}$ *Ки/л* 1 *эман* = $1\cdot10^{-10}$ *Ки/л* = 3,7 *Бк/л*
Поглощенная доза	*рад*	*Гр* (грей)	1 *рад* = 100 *эрг/г* = 0,01 *Гр* 1 *Гр* = 10^4 *эрг/г* =100 *рад*
Мощность поглощенной дозы	*рад/с*	*Гр/с*	1 *рад/с* = 0,01 *Гр/с* 1 *Гр/с* = 100 *рад/с*
Эквивалентная доза	*бэр* (биологический эквивалент *рада*)	*Зв* (зиверт)	1 *бэр* = 1 *рад*/Q* = 0,01 *Гр*/Q = = 0,01 *Зв* 1 *Зв* = 1 *Гр*/Q = 100 *рад*/Q = = 100 *бэр*
Мощность эквивалентной дозы	*бэр/с*	*Зв/с*	1 *бэр/с* = 0,01 *Зв/с* 1 *Зв/с* = 100 *бэр/с*
Экспозиционная доза	*Р* (рентген)	*Кл/кг*	1 *Р* = $2{,}58\cdot10^{-4}$ *Кл/кг* 1 *Р* = $0{,}88\cdot10^{-2}$ *Гр* в воздухе 1 *Кл/кг* = $3{,}88\cdot10^{3}$ *Р*
Мощность экспозиционной дозы	*Р/с*	$\frac{Кл}{кг\cdot с}$	1 *Р/с* = $2{,}58\cdot10^{-4}$ *Кл/кг·с* 1 *Р/с* = $0{,}88\cdot10^{-2}$ *Гр/с* в воздухе 1 *Кл/кг·с* = $3{,}88\cdot10^{3}$ *Р/с*

* - коэффициент качества излучения

1.3. Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма

Радиация по самой своей природе вредна для жизни. Малые дозы облучения могут "запустить" не до конца еще установленную цепь событий, приводящих к раку или к генетическим повреждениям. При больших дозах радиация может разрушать клетки, повреждать ткани органов и явиться причиной скорой гибели организма.

Повреждения, вызываемые большими дозами облучения, обыкновенно проявляются в течение нескольких часов или дней. Раковые заболевания, однако, проявляются спустя много лет после облучения - как правило, не ранее, чем через одно-два десятилетия. А врожденные пороки развития и другие наследственные болезни, вызываемые повреждением генетического аппарата, проявляются лишь в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки человека, подвергшегося облучению.

Чтобы вызвать острое поражение организма, дозы облучения должны превышать определенный уровень, но нет никаких оснований считать, что это правило действует в случае таких последствий, как рак или повреждение генетического аппарата. По крайней мере, теоретически для этого достаточно самой малой дозы. Однако в то же самое время никакая доза облучения не приводит к этим последствиям во всех случаях. Даже при относительно больших дозах облучения далеко не все люди обречены на эти болезни: действующие в организме человека репарационные механизмы обычно ликвидируют все повреждения. Точно также любой человек, подвергшийся действию радиации, совсем не обязательно должен заболеть раком или стать носителем наследственных болезней; однако вероятность, или риск**,** наступления таких последствий у него больше, чем у человека, который не был облучен. И риск этот тем больше, чем больше доза облучения.

Механизм воздействия ионизирующего излучения на ткани организма следующий.

Заряженные частицы. Проникающие в ткани организма альфа- и бета-

частицы теряют энергию вследствие электрических взаимодействий с электронами тех атомов, близ которых они проходят. Гамма-излучение и рентгеновские лучи передают свою энергию веществу несколькими способами (фотоэффект, комптон-эффект, эффект образования электрон-позитронных пар), которые в конечном счете также приводят к электрическим взаимодействиям.

Электрические взаимодействия. За время порядка десяти триллионных секунды после того, как проникающее излучение достигнет соответствующего атома в ткани организма, от этого атома отрывается электрон. Последний заряжен отрицательно, поэтому остальная часть исходно нейтрального атома становится положительно заряженной. Этот процесс называется ионизацией. Оторвавшийся электрон может далее ионизировать другие атомы.

Физико-химические изменения. И свободный электрон, и ионизированный атом обычно не могут долго пребывать в таком состоянии и в течении следующих десяти миллиардных долей секунды участвуют в сложной цепи реакций, в результате которых образуются новые молекулы, включая и такие чрезвычайно реакционноспособные, как "свободные радикалы".

Химические изменения. В течение следующих миллионных долей секунды образовавшиеся "свободные радикалы" реагируют как друг с другом, так и с другими молекулами и через цепочку реакций, еще не изученных до конца, могут вызывать химическую модификацию важных в биологическом отношении молекул, необходимых для нормального функционирования клетки.

Биологические эффекты. Биохимические изменения могут произойти как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток или таких изменений в них, которые могут привести к раку.

Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации (рис. 1). Большинство из них таковы, что избежать облучения от них совершенно невозможно. На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения падают на поверхность Земли из

космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре, а также полученных человеком в результате его техногенной деятельности.

Человек подвергается облучению двумя способами. Радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи. В этом случае говорят о внешнем облучении. Или же они могут оказаться в воздухе, которым дышит человек, в пище или воде и попасть внутрь организма. Такой способ облучения называют внутренним.

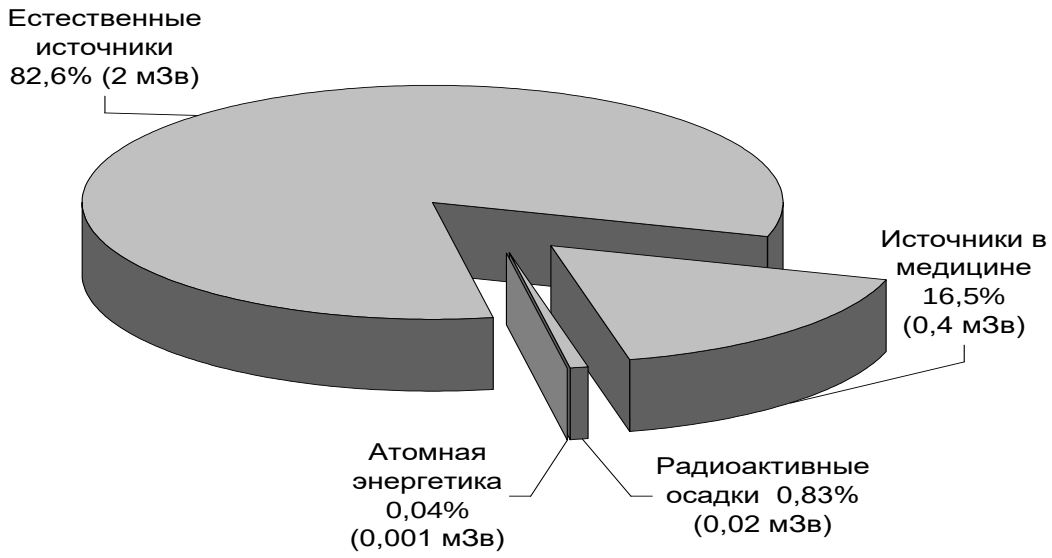


Рис. 1. Источники радиации [7]

Степень радиационного воздействия изотопов, содержащихся в организме человека, определяется создаваемой ими тканевой дозой облучения различных органов и тканей, избирательно накапливающих эти изотопы. Накопление изотопов в организме зависит от скорости их поступления в организм с пищевыми продуктами, водой и воздухом в желудочно-кишечный тракт или легкие, степени усвояемости изотопа из желудочно-кишечного тракта или легких, характера его распределения и времени удержания в организме (табл. 6).

Повреждений, вызванных в живом организме излучением, будет тем больше, чем больше энергии оно передаст тканям (табл. 7).

Биологические и физические константы для некоторых изотопов [5]

Таблица 6

Изотоп	Масса критического органа, *г*	Периоды полураспада и полувыведения, *дни*			Доля изотопа, попадающая в рассматриваемый орган от общего его количества в организме	Доля изотопа, попадающая в рассматриваемый орган при	
		$T_{физ}$	$T_{биол}$	$T_{эфф}$		заглатывании	вдыхании
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-
H^3	все тело, $7*10^4$	$4,5*10^3$	12	12	1,0	0,75	1,0
C^{14}	все тело, $7*10^4$	$2*10^6$	10	10	1,0	1,0	0,75
Na^{24}	все тело, $7*10^4$	0,63	11	0,6	1,0	1,0	0,75
P^{32}	все тело, $7*10^4$	14,3	257	13,5	1,0	0,75	0,63
	кости, $7*10^3$	14,3	1155	14,1	0,21	0,15	0,13
	гол. мозг, $1,5*10^3$	14,3	257	13,5	$7\cdot10^{-3}$	$5,3\cdot10^{-3}$	$4,4\cdot10^{-3}$
K^{42}	все тело, $7*10^4$	0,52	58	0,52	1,0	1,0	0,75
	селезенка, 150	0,52	58	0,52	$4\cdot10^{-3}$	$4\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$
	гол. мозг, $1,5*10^3$	0,52	58	0,52	0,04	0,04	0,03
	печень, $1,7*10^3$	0,52	58	0,52	0,02	0,02	0,015
Ca^{45}	все тело, $7*10^4$	164	16400	162	1,0	0,6	0,55
	кости, $7*10^3$	164	18000	162	0,9	0,54	0,5
Mn^{56}	все тело, $7*10^4$	0,11	17	0,11	1,0	0,1	0,3
Fe^{55}	все тело, $7*10^4$	1100	800	463	1,0	0,1	0,3
	селезенка, 150	1100	600	388	0,02	0,002	0,006
Fe^{59}	все тело, $7*10^4$	45,1	800	42,7	1,0	0,1	0,3
	селезенка, 150	45,1	600	41,9	0,02	0,002	0,006
Co^{60}	все тело, $7*10^4$	1900	9,5	9,5	1,0	0,3	0,4
	печень, $1,7*10^3$	1900	9,5	9,5	0,02	0,007	0,02
Ni^{65}	все тело, $7*10^4$	0,11	667	0,11	1,0	0,3	0,4
	кости, $7*10^3$	0,11	800	0,11	0,5	0,15	0,2

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-
Cu^{64}	все тело, $7*10^4$ печень, $1,7*10^3$ гол. мозг, $1,5*10^3$	0,53 0,53 0,53	80 150 800	0,53 0,53 0,53	1,0 0,08 0,01	0,28 0,02 0,003	0,39 0,03 0,004
Zn^{65}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$ мышцы, $3*10^4$	245 245 245	933 0,001 1959	194 206 218	1,0 0,16 0,34	0,1 0,015 0,03	0,3 0,045 0,09
Sr^{90}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	10^4 10^4	13000 18000	5700 6400	1,0 0,99	0,3 0,09	0,4 0,12
Y^{90}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	2,68 2,68	14000 18000	2,68 2,68	1,0 0,75	0,0001 $7,5\cdot10^{-5}$	0,25 0,19
J^{131}	все тело, $7*10^4$ щит. железа., 20	8 8	138 138	7,6 7,6	1,0 0,3	1,0 0,3	0,75 0,23
Cs^{137}	все тело, $7*10^4$ мышцы, $3*10^4$	$1,1*10^4$ $1,1*10^4$	70 140	70 138	1,0 0,79	1,0 0,4	0,75 0,3
Ba^{140}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	12,8 12,8	65 65	10,7 10,7	1,0 0,7	0,05 0,035	0,28 0,19
Po^{210}	все тело, $7*10^4$ печень, $1,7*10^3$	138,4 138,4	30 41	25 32	1,0 0,22	0,06 0,01	0,28 0,05
Ra^{226}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$5,9*10^5$ $5,9*10^5$	8100 16400	900 16000	1,0 0,99	0,3 0,04	0,4 0,03
Th^{232}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$5,1*10^{12}$ $5,1*10^{12}$	57000 73000	57000 73000	1,0 0,9	0,0001 $7\cdot10^{-5}$	0,25 0,18
Th^{234}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	24,1 24,1	57000 73000	24,1 24,1	1,0 0,7	0,0001 $7\cdot10^{-5}$	0,25 0,18
U^{238}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$1,6*10^{12}$ $1,6*10^{12}$	100 300	100 300	1,0 0,85	0,0001 $3,3\cdot10^{-5}$	0,25 0,083
U^{235}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$2,6*10^{11}$ $2,6*10^{11}$	100 300	100 300	1,0 0,85	0,0001 $3,3\cdot10^{-5}$	0,25 0,083
Pu^{239}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$8,9*10^6$ $8,9*10^6$	65000 73000	64000 72000	1,0 0,9	$3\cdot10^{-5}$ $2,4\cdot10^{-5}$	0,25 0,2

Эффективная энергия основных радиоактивных изотопов, передаваемая ткани при каждом акте их распада [5]

Таблица 7

Радиоактивный изотоп	Критический орган	E_{Σ}, *МэВ*
H^{3}	Все тело	0,01
C^{14}	Все тело, жировая ткань Кости	0,054 2,7
Na^{24}	Все тело Легкие	2,7 1,5
P^{32}	Все тело, Кости	0,69 3,5
Co^{60}	Все тело Легкие, печень Селезенка, почки	1,5 0,72 0,56
Zn^{65}	Все тело, мышцы Легкие, печень Почки Кости	0,32 0,15 0,11 0,094
Sr^{90}	Все тело, легкие Кости	0,21 1,1
Y^{90}	Все тело Легкие Кости	0,89 0,87 4,4
J^{131}	Все тело Щитовидная железа	1,6 0,69
Cs^{137}	Все тело, мышцы	0,59
Ba^{140}	Все тело, мышцы Кости	2,3 4,2
Po^{210}	Все тело, легкие, селезенка, почки, печень	55
Ra^{226}	Все тело, кости	110
Th^{232}	Все тело Кости	62 270
U^{235}	Все тело, почки, легкие	46
U^{238}	Все тело, легкие, почки Кости	43 220
Pu^{239}	Все тело, легкие, печень Кости	53 270

1.4. Расчет доз облучения

Тканевую дозу от внешнего γ-излучения радиоактивных изотопов можно определить по величине измеренной ионизации.

Хультквист [10] вывел соотношения для вычисления величины ионизации, создаваемой над поверхностью земли γ-излучением естественных радио-

активных изотопов Ra^{226}, *U, Th* (в случае равновесия с продуктами их распада) и *K*, содержащихся в почве (табл. 8).

Данные по ионизации над поверхностью земли [10]

таблица 8

Изотоп	Ионизация, *пар ионов/см³·с*	
	без учета рассеянного излучения *	с учетом многократного рассеяния γ-квантов
Радий-226	$0{,}6\cdot10^{12}\,C_{Ra}$	$1{,}26\cdot10^{12}\,C_{Ra}$
Природный уран	$0{,}2\cdot10^{6}C_{U}$	$0{,}44\cdot10^{6}C_{U}$
Торий-232	$0{,}104\cdot10^{6}C_{Th}$	$0{,}21\cdot10^{6}C_{Th}$
Калий	$48\cdot C_{K}$	$91\cdot C_{K}$

* C - концентрация радиоактивного изотопа, *г/г* почвы

Ионизация, создаваемая γ-излучением, и мощность дозы P в воздухе (в *Гр/сутки*) связаны между собой следующим соотношением:

$$P = \frac{n\cdot 34\cdot 8{,}64\cdot10^{4}\cdot 1{,}6\cdot10^{12}\cdot 770\cdot 1{,}12}{10^{4}} = 4\cdot10^{-7}\cdot n \qquad (2)$$

где n - число пар ионов, образованных в 1 *см³* за 1 *с*; 34 - величина средней работы ионизации в воздухе для γ-квантов средних энергий, *эВ*; $8{,}64\cdot10^{4}$ - число секунд в сутках; $1{,}6\cdot10^{-12}$ - число эргов в 1 *эВ*; 770 - объем, занимаемый 1 *г* воздуха, *см³*; 1,12 - множитель перехода от поглощенной дозы в воздухе к поглощенной дозе в ткани (для γ-квантов средних энергий одному рентгену соответствует поглощенная в 1 *г* воздуха доза $0{,}88\cdot10^{-2}$ *Гр* , а в 1 *г* мягких тканей - $0{,}98\cdot10^{-2}$ *Гр*).

Используя эту зависимость, Хультквист [10] вывел соотношения, позволяющие определить величину мощности поглощенной дозы на поверхности земли в зависимости от концентрации изотопов Ra^{226}, *U, Th* и *K* (с учетом рассеянного излучения в почве):

$$P = 5 \cdot 10^5 \cdot C_{Ra},$$
$$P = 0{,}176 \cdot C_U,$$
$$P = 8{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot C_{Th}, \qquad (3)$$
$$P = 3{,}64 \cdot 10^{-5} \cdot C_K,$$

где C_{Ra}, C_U, C_{Th} и C_K - концентрация радиоактивного изотопа в *г/г* почвы; P - мощность поглощенной дозы в *Гр/сут.*

Для естественных радиоактивных изотопов *Rn* и *Tn* (и продуктов их распада), содержащихся в атмосферном воздухе, при условии их постоянной концентрации по высоте над поверхностью земли мощность поглощенной дозы можно рассчитать, используя соотношения (4), также полученные Хультквистом в предположении, что 60 % аэрозольных частиц, несущих радиоактивность продуктов распада *Rn* и *Tn*, задерживаются в легочной ткани. Объем легких принят 3000 $см^3$, вес 800 *г*:

$$P = 1{,}05 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{Rn},$$
$$P = 1{,}03 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{Tn}, \qquad (4)$$

где P - мощность поглощенной дозы в *Гр/сут*; Q_{Rn}, Q_{Tn} - концентрация радона и торона в атмосферном воздухе в *Бк/л*.

В атмосфере постоянно находятся естественные радиоактивные изотопы *Rn, Tn* и их дочерние продукты, которые непрерывно поступают в легкие человека с вдыхаемым воздухом; в легочной ткани накапливаются дочерние продукты распада *Rn* и *Tn*.

Дозы облучения легких, обусловленные излучением *Rn* и *Tn* и их дочерних продуктов, находящихся в состоянии радиоактивного равновесия в легких, могут быть вычислены с помощью соотношений [9]:

$$P_{Rn} = 1{,}35 \cdot 10^2 Q_{Rn},$$
$$P_{Tn} = 17{,}97 \cdot 10^2 Q_{Tn}, \qquad (5)$$

где P_{Rn}, P_{Tn} - мощности доз, создаваемых соответственно радоном и тороном в

мЗв/год; Q_{Rn} и Q_{Tn} - концентрации радона и торона в воздухе в *Бк/л*.

Если известны мощность дозы P и время облучения t, то доза от внешнего облучения равна их произведению:

$$D = P\,t \tag{6}$$

Тканевая доза облучения критического органа, в котором отложилась некоторая доля от попавшего в организм радиоактивного изотопа, может быть вычислена по следующему соотношению:

$$D = \frac{C \cdot k \cdot E_{\Sigma} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot t}{M \cdot 10^{4}}\ , \tag{7}$$

где D - доза облучения критического органа в *Гр*; C - активность изотопа, попавшего в организм, в *Бк* или *расп/с*; k - доля изотопа, отложившегося в критическом органе, от его общего количества во всем организме; E_{Σ} - эффективная энергия, передаваемая ткани органа при каждом акте распада радиоактивного изотопа, в *МэВ*; t - время облучения критического органа в *с*; M – масса критического органа, в *г*; $1{,}6 \cdot 10^{-6}$ - число *эргов* в 1 *МэВ*; 10^{4} - число *эрг/г* на 1 *Гр*.

Активность радиоактивного препарата, попавшего в организм, можно рассчитать, если известна его масса :

$$C = \frac{\ln 2 \cdot N_o \cdot m}{T_{1/2} \cdot A}\ , \tag{8}$$

где $N_o = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ - число Авогадро; m - масса изотопа в *г*; $T_{1/2}$ - период его полураспада в *с*; A - атомная масса изотопа.

Как видно из соотношения (7), доза в органе, в котором содержится радиоактивный изотоп, зависит от массы облучаемого органа, активности изотопа, содержащейся в этом органе, и энергии испускаемых изотопом частиц и γ-квантов, приходящейся на один распад. На получаемую дозу также будет влиять время пребывания радиоактивного изотопа в органе, которое в свою очередь зависит от периода полураспада радионуклида и периода его полувыведения из органа.

По соотношению (7) можно рассчитывать дозу, если концентрация ра-

диоизотопа в критическом органе практически не меняется во времени (период эффективного полувыведения изотопа очень велик), то есть когда изотоп медленно распадается и выводится.

Если концентрация изотопа в критическом органе во времени ощутимо уменьшается из-за биологического выведения и радиоактивного распада, то через время t после окончания поступления изотопа в орган доза будет равна:

$$D = \frac{C \cdot k \cdot E_{\Sigma} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6}}{M \cdot 10^{4}} \cdot \frac{(1 - e^{-\lambda \ t})}{\lambda} \ , \qquad (9)$$

где λ - постоянная эффективного выведения ($\lambda = ln\,2/T_{эфф}$) в c^{-1}.

Если доза рассчитывается за достаточно большой промежуток времени, когда практически весь радиоактивный изотоп удалится из организма, то необходимо использовать следующее соотношение:

$$D = \frac{C \cdot k \cdot E_{\Sigma} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6}}{M \cdot 10^{4}} \quad \frac{1}{\lambda} \ . \qquad (10)$$

1.5. Предельно допустимые уровни облучения

Предельно допустимые дозы внешнего и внутреннего облучения регламентируются Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) и приведены в таблице 9.

таблица 9

Нормируемые величины	Дозовые пределы, *мЗв/год*		
	персонал категории А*	персонал категории Б**	население
Эффективная доза	50	12,5	5
Эквивалентная доза в			
1) хрусталике глаза, кроветворных органах, гонадах	150	37,5	15
2) коже, щитовидной железе, костях, легких, печени, почках, мышцах и др.	500	125	50
3) кистях и стопах	500	125	50

* лица, работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучений,

** лица, работающие в помещениях, смежных с помещениями, в которых ведутся работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, но не занятых непосредственно работой с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений.

Для студентов и учащихся в возрасте до 21 года, проходящих обучение с использованием источников ионизирующего излучения, годовые накопленные дозы не должны превышать значений, установленных для населения.

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

2.1. Определение предельно допустимого времени пребывания на различных расстояниях от источника гамма-излучения

Задание

а) Предварительно отградуированным радиометром измерить мощность экспозиционной дозы на различных расстояниях от источника гамма-излучения Ra^{226} (3,7 *МБк*).

б) По результатам эксперимента найти предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от источника излучения.

в) Рассчитать теоретически предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от данного источника излучения.

г) Сравнить экспериментальные результаты и теоретические расчеты. Сделать выводы.

Материалы и оборудование

1. Отградуированный радиометр типа СРП-68-01 или СРП-88-01.

2. Радиоизотопный источник Ra^{226} (эталон С-41; 0,1 *мг* Ra; 3,7 *МБк*).

3. Калькулятор, миллиметровка, карандаш, резинка, линейка.

Порядок выполнения работы

а) Радиометр установить в 10-ти положениях на различных расстояниях от источника Ra^{226} и измерить мощность экспозиционной дозы *P*. Расстояние изменять от 0,1 до 1 *м* с шагом 0,1 *м*. Для перемещения источника использовать дистанционный инструмент.

б) Рассчитать предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от источника излучения по формуле:

$$t_{max} = \frac{D_{пр}}{P}, \qquad (11)$$

где $D_{пр}$ - предельно допустимая доза за один рабочий день при пятидневной рабочей неделе (для персонала – 0,2 *мГр*, для населения – 0,02 *мГр*), P - мощность поглощенной дозы в *мГр/ч* (1 *мГр/ч* = $1{,}13 \cdot 10^5$ *мкР/ч*).

Результаты замеров и последующих расчетов занести в таблицу:

Расстояние R, *м*	Мощность дозы P		t_{max}, *ч*	$t_{max}^{теор}$, *ч*
	в *мкР/ч*	в *мГр/ч*		
1	2	3	4	5

в) Теоретически рассчитать предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от источника излучения по формуле:

$$t_{\max}^{теор} = \frac{D_{пр}}{84} \cdot R^2, \qquad (12)$$

где $D_{пр}$ - предельно допустимая доза за один рабочий день при пятидневной рабочей неделе (для персонала – 0,2 *мГр*, для населения – 0,02 *мГр*), 84 – постоянная источника Ra^{226} типа С-41, R – расстояние до источника излучения в *м*.

Результаты теоретических расчетов занести в таблицу.

г) По экспериментальным данным и теоретическим расчетам на одних координатных осях построить графики зависимости $t_{max} = f(R)$ и $t_{\max}^{теор} = f(R)$ для персонала и населения (рис.2).

д) Сделать выводы. Объяснить, почему кривая $t_{max} = f(R)$ лежит ниже теоретически рассчитанной кривой $t_{\max}^{теор} = f(R)$ или почему теоретически рассчитанное время пребывания возле источника больше найденного экспериментально.

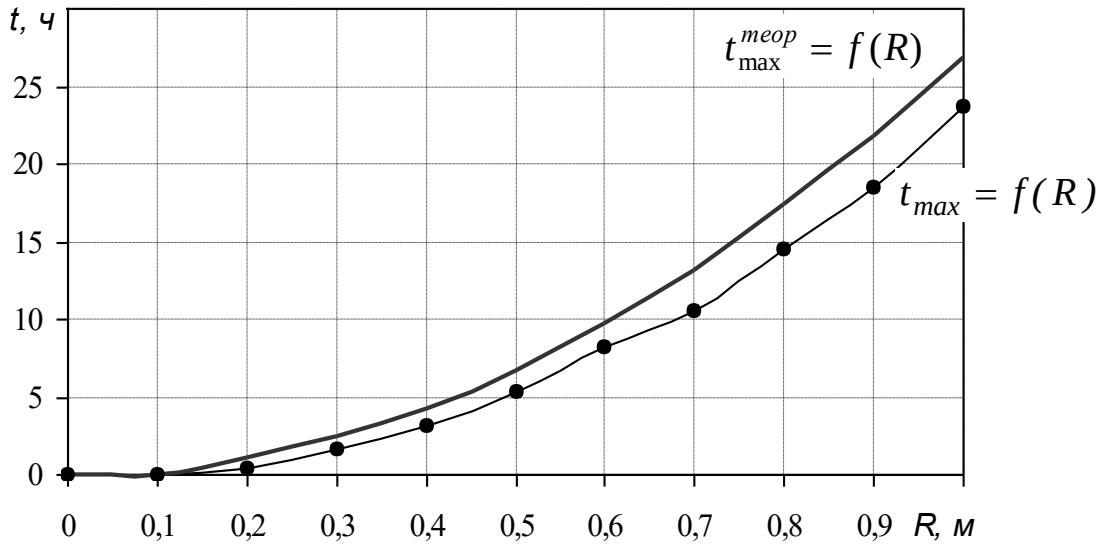


Рис. 2. Образец оформления графиков зависимости $t_{max} = f(R)$ и $t_{\max}^{теор} = f(R)$.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение экспозиционной дозы.

2. Дайте определение поглощенной дозы.

3. Какова связь между *мкР* и *мГр* ?

4. Какова связь между дозой и мощностью дозы ?

5. Как зависит доза от расстояния между источником ионизирующего излучения и детектором ?

6. Как зависит доза от времени пребывания возле источника ?

7. Как влияет рассеянное гамма-излучение источника на дозу внешнего облучения ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.

2. Порядок выполнения измерений и расчетов.

3. Результаты измерений и расчетов.

4. Графики зависимости $t_{max} = f(R)$ и $t_{\max}^{теор} = f(R)$ для персонала и населения.

5. Выводы.

2.2. Определение дозы внутреннего облучения при попадании радиоактивного вещества внутрь организма

Задание

а) Познакомиться с основными теоретическими положениями при расчете тканевых доз облучения.

б) По заданному преподавателем варианту условий рассчитать дозу внутреннего облучения от радиоактивного вещества, попавшего внутрь организма, за период, равный времени полного выведения радионуклида из организма. При расчете пользоваться справочными данными табл. 6 и табл. 7.

в) Сделать выводы о последствиях внутреннего облучения всего организма или отдельных органов данным радиоактивным веществом.

г) Варианты условий расчета дозы внутреннего облучения

таблица 10

Вариант задания	Радиоактивный изотоп, попавший внутрь организма	Количество радиоактивного изотопа, г	Орган или ткань организма для расчета дозы
-1-	*-2-*	*-3-*	*-4-*
1	H^{3}	10^{-6}	все тело
2	C^{14}	10^{-6}	все тело
3	Na^{24}	10^{-9}	все тело
4	P^{32}	10^{-9}	все тело
5	P^{32}	10^{-9}	кости
6	Co^{60}	10^{-9}	все тело
7	Co^{60}	10^{-9}	печень
8	Zn^{65}	10^{-9}	все тело
9	Zn^{65}	10^{-9}	кости
10	Zn^{65}	10^{-9}	мышцы
11	Sr^{90}	10^{-9}	все тело
12	Sr^{90}	10^{-9}	кости
13	Y^{90}	10^{-9}	все тело
14	Y^{90}	10^{-9}	кости
15	J^{131}	10^{-9}	все тело
16	J^{131}	10^{-9}	щитовидная железа
17	Cs^{137}	10^{-9}	все тело
18	Cs^{137}	10^{-9}	мышцы
19	Ba^{140}	10^{-9}	все тело

-1-	-2-	-3-	-4-
20	Ba^{140}	10^{-9}	кости
21	Po^{210}	10^{-9}	все тело
22	Po^{210}	10^{-9}	печень
23	Ra^{226}	10^{-9}	все тело
24	Ra^{226}	10^{-9}	кости
25	Th^{232}	10^{-9}	все тело
26	Th^{232}	10^{-9}	кости
27	U^{235}	10^{-9}	все тело
28	U^{235}	10^{-9}	кости
29	U^{238}	10^{-9}	все тело
30	U^{238}	10^{-9}	кости
31	Pu^{239}	10^{-9}	все тело
32	Pu^{239}	10^{-9}	кости

Материалы и оборудование

1. Справочная информация из табл. 6 и 7 настоящего методического пособия.

2. Калькулятор.

Порядок выполнения работы

а) По формуле (8) рассчитать активность радиоактивного препарата, попавшего в организм.

б) Если изотоп медленно распадается и выводится, и концентрация радиоизотопа в критическом органе или всем теле практически не меняется во времени, то есть когда период эффективного полувыведения изотопа очень велик (см. табл. 6), то при расчете дозы использовать формулу 7. Время t принять равным времени полного выведения радионуклида из организма, то есть $t = T_{эфф}/ln2$

Если концентрация изотопа в критическом органе или всем теле ощутимо уменьшается во времени вследствие биологического выведения и радиоактивного распада, то при расчете дозы использовать формулу 9, также приняв время t равным $T_{эфф}/ln2$.

в) Сделать выводы об опасности либо безопасности рассчитанной дозы и возможных последствиях.

Контрольные вопросы

1. Как влияет период полураспада и атомная масса радионуклида на величину его активности ?

2. Как влияет масса критического органа или ткани человека на величину поглощенной дозы ?

4. Как влияет время пребывания радионуклида в критическом органе или ткани человека на величину поглощенной дозы ?

5. Как влияет энергия частиц, излучаемых радионуклидом, на величину поглощенной дозы ?

6. От чего зависит период эффективного полувыведения радионуклида из организма ?

7. Если период полураспада радионуклида велик, а период его биологического полувыведения из организма мал, то каков будет период эффективного полувыведения радионуклида ? Почему ?

8. Если период полураспада радионуклида мал, а период его биологического полувыведения из организма велик, то каков будет период эффективного полувыведения радионуклида ? Почему ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.

2. Порядок выполнения расчетов.

3. Результаты расчетов.

4. Выводы.

2.3. Определение дозы внешнего облучения при работе на территориях с повышенной радиоактивностью

Задание

а) Рассчитать дозу внешнего облучения оператора-радиометриста, выполняющего профильную спектрометрическую гамма-съемку в зоне уран-тори-

евого оруденения (рудное тело выходит на дневную поверхность). Скорость перемещения оператора по профилю – 3 *км/ч*. Время измерений на точке – 2 *мин*. Расстояние между точками измерений – 50 *м*. Исходными данными для расчета считать результаты измерений концентрации урана, тория и калия по профилю (табл. 11).

б) Построить графики распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы (рис. 3).

в) Сравнить рассчитанную дозу с дозовым пределом для населения (табл.9). Оценить возможность работы оператора в данных условиях в течение месяца при условии, что рабочий день составляет 8 часов. Дать объяснения.

г) Варианты условий расчета:

таблица 11

№ пикета	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3			Вариант 4		
	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %
1	0,01	0,02	1,28	0,01	0,02	1,69	0,01	0,02	2,07	0,00	0,02	2,07
2	0,01	0,02	1,28	0,01	0,02	1,68	0,01	0,02	2,06	0,01	0,02	2,06
3	0,02	0,02	1,36	0,02	0,01	1,70	0,02	0,04	2,07	0,02	0,04	2,07
4	0,09	0,10	1,4	0,09	0,03	1,90	0,09	0,17	1,90	0,04	0,17	1,90
5	0,40	0,17	1,35	0,4	0,28	2,10	0,15	0,37	2,10	0,07	0,37	1,97
6	0,60	0,27	1,34	0,74	0,46	2,16	0,32	0,63	2,16	0,19	0,63	2,06
7	0,70	0,33	1,30	1,20	0,54	2,40	0,38	0,71	2,40	0,38	0,71	2,14
8	1,20	0,35	1,43	1,39	0,55	2,17	0,29	0,55	2,17	0,61	0,87	2,17
9	1,50	0,37	1,72	1,08	0,45	2,53	0,13	0,37	2,21	0,69	1,13	2,21
10	1,00	0,34	1,80	0,58	0,34	2,19	0,68	0,96	2,19	0,87	1,26	2,29
11	0,50	0,36	1,54	0,50	0,36	2,07	1,00	1,36	2,36	0,99	1,45	2,36
12	0,60	0,57	1,46	0,60	0,35	1,97	0,90	1,53	2,19	0,90	1,35	2,19
13	0,70	0,82	1,42	0,53	0,29	1,83	0,65	1,16	2,07	0,65	1,16	2,07
14	0,90	1,00	1,35	0,39	0,27	1,80	0,47	0,75	2,03	0,47	0,75	2,03
15	0,40	0,50	1,35	0,30	0,20	1,74	0,30	0,48	1,98	0,30	0,48	2,04
16	0,20	0,30	1,32	0,20	0,13	1,67	0,11	0,196	1,90	0,11	0,20	2,02
17	0,10	0,20	1,35	0,10	0,06	1,75	0,05	0,08	1,91	0,07	0,08	1,97
18	0,04	0,08	1,34	0,04	0,03	1,60	0,03	0,03	1,82	0,04	0,03	1,92
19	0,02	0,01	1,35	0,02	0,01	1,64	0,02	0,01	1,94	0,02	0,01	1,99
20	0,01	0,01	1,40	0,01	0,01	1,64	0,01	0,01	1,98	0,01	0,01	2,06

продолжение таблицы 11

№ пикета	Вариант 5			Вариант 6			Вариант 7			Вариант 8		
	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %
1	0,00	0,02	1,79	0,00	0,02	2,14	0,00	0,02	2,14	0,02	0,02	2,05
2	0,04	0,02	1,88	0,03	0,02	2,12	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	2,04
3	0,02	0,04	1,86	0,02	0,04	2,02	0,02	0,00	2,02	0,02	0,01	2,02
4	0,04	0,04	1,90	0,20	0,04	2,02	0,04	0,06	2,02	0,09	0,01	2,02
5	0,07	0,17	1,97	0,27	0,09	2,12	0,07	0,15	2,12	0,39	0,03	2,12
6	0,18	0,45	2,06	0,28	0,10	2,18	0,18	0,22	2,18	0,59	0,08	2,36
7	0,38	0,65	2,20	0,38	0,07	2,29	0,29	0,4	2,29	0,29	0,16	2,29
8	0,29	0,85	2,23	0,52	0,1	2,36	0,52	0,61	2,36	0,92	0,36	2,23
9	0,77	1,08	2,30	0,77	0,53	2,40	0,94	0,98	2,65	1,60	0,64	2,55
10	0,89	1,20	2,35	0,89	0,12	2,35	1,80	1,52	2,85	2,18	0,83	2,96
11	0,30	0,26	2,10	0,64	0,07	2,23	0,87	1,13	2,59	1,10	0,55	2,59
12	0,90	0,15	2,19	0,54	0,15	2,19	0,30	0,57	2,42	0,30	0,11	2,42
13	0,65	0,06	2,13	0,60	0,10	2,13	0,18	0,32	2,37	0,12	0,07	2,37
14	0,14	0,04	2,03	0,39	0,06	2,10	0,28	0,92	2,21	0,07	0,03	2,21
15	0,30	0,04	2,04	0,30	0,04	2,10	0,13	0,36	2,28	0,04	0,07	2,10
16	0,11	0,02	2,02	0,11	0,01	2,11	0,04	0,13	2,11	0,04	0,01	2,00
17	0,02	0,01	2,04	0,03	0,01	2,12	0,03	0,04	2,12	0,03	0,02	1,97
18	0,04	0,03	2,07	0,04	0,01	2,16	0,01	0,02	2,07	0,04	0,01	2,07
19	0,02	0,01	2,12	0,02	0,01	2,12	0,02	0,05	2,12	0,02	0,03	2,05
20	0,01	0,01	2,06	0,01	0,01	2,06	0,01	0,01	2,06	0,01	0,01	2,15

Материалы и оборудование

1. Справочная информация из таблицы 9 настоящего методического пособия.

2. Калькулятор, миллиметровка, карандаш, резинка, линейка.

Порядок выполнения работы

а) Используя соотношения (3) рассчитать мощности поглощенных доз P_U, P_{Th}, P_K на поверхности земли в зависимости от концентрации изотопов *U*, *Th* и *K*. Следует иметь в виду, что в приведенных соотношениях концентрации радиоактивных изотопов C_U, C_{Th} и C_K представлены в *г/г* почвы, а мощности поглощенных доз *P* получают в *Гр/сут.* Чтобы C_U, C_{Th} и C_K подставлять в %, а *P* получать в *Гр/ч*, необходимо правую часть равенств умножить на 10^{-2} (1 % = 10^{-2} *г/г*) и разделить на 24 (1 *сут*. = 24 *ч*.):

$$P_U = 7{,}33 \cdot 10^{-5} \cdot C_U ,$$

$$P_{Th} = 3{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot C_{Th}, \qquad (12)$$

$$P_K = 1{,}52 \cdot 10^{-8} \cdot C_K$$

Чтобы мощности поглощенных доз выразить в *мГр/ч.*, следует полученные значения P_U, P_{Th}, P_K умножить на 10^3.

б) Общую мощность поглощенной дозы в *i*-той точке профиля от ионизирующего действия γ-излучений *U* (и продуктов его распада), *Th* (и продуктов его распада) и *K*, содержащихся в почве, находят суммированием:

$$P_{\Sigma i} = P_{Ui} + P_{Thi} + P_{Ki} \ . \qquad (13)$$

Распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы вынести на график, образец оформления которого представлен на рис.3.

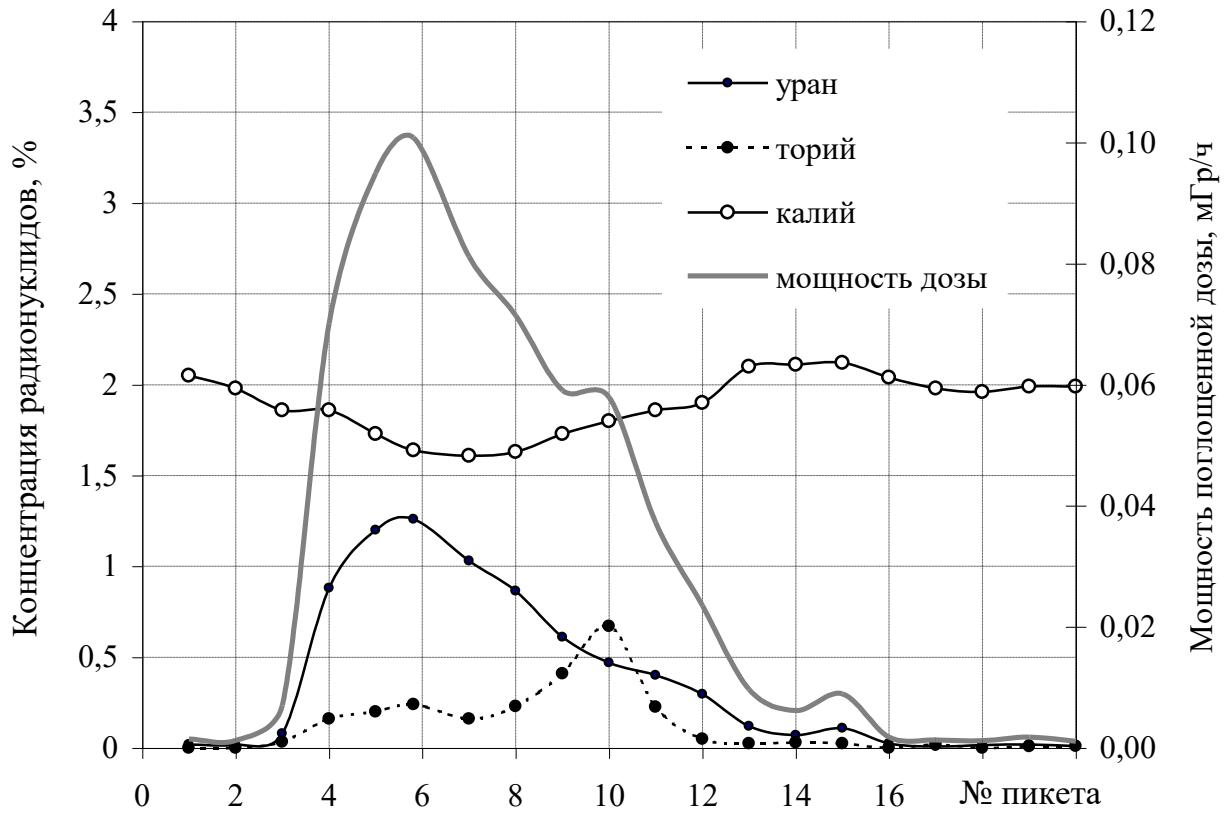


Рис. 3. Образец оформления графиков распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы

в) Величину поглощенной дозы находят

$$D = \sum_{i=1}^{n} P_{\Sigma i} \cdot t_i \ , \qquad (14)$$

где $P_{\Sigma i}$ - общая мощность поглощенной дозы в *i*-той точке профиля; t_i - время пребывания в *i*-той точке профиля (с учетом времени перехода от одной точки к другой).

Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой величина ионизации, создаваемая γ-излучением, и мощность поглощенной дозы ?

2. Как связаны между собой доза и мощность дозы ?

3. Как оценить возможное время пребывания в условиях повышенного гамма-фона, если известна мощность экспозиционной или поглощенной дозы ?

4. В каких единицах измеряют поглощенную дозу и мощность поглощенной дозы ?

5. Какой из изотопов *U, Th* или *K* вносит наибольший вклад в суммарную мощность поглощенной дозы ? Почему ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.

2. Порядок выполнения расчетов.

3. Графики распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы.

4. Результаты расчета величины поглощенной дозы оператором-радиометристом.

5. Выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герфорд Л., Кох Х., Хюбнер К.* Практикум по радиоактивности и радиохимии: пер. с нем. – М.: Мир, 1984.

2. *Голубев* В.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений - М.: Энергоатомиздат, 1986.

3. *Гусев Н.Г.* Защита от ионизирующих излучений. Том 1. Физические основы защиты от излучений – М.: Энергоатомиздат, 1989.

4. *Краткий справочник инженера-физика..* Ядерная физика. Атомная физика / Под ред. Федорова Н.Д. – М.: Госатомиздат, 1961.

5. *Моисеев А.А., Иванов В.И.* Краткий справочник по радиационной защите и дозиметрии. – М.: Атомиздат, 1964.

6. *Нормы радиационной безопасности* (НРБ-99/2009) – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.-100 с.

7. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности* (ОСПОРБ-99/2010) - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.

8. *Радиация. Дозы, эффекты, риск*: пер. с англ. – М.: Мир, 1990.

9. *Холл Э. Дж.* Радиация и жизнь: пер. с англ. – М.: Медицина, 1989.

10. *Хультквист Б.* Ионизирующее излучение естественных источников: пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959.

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть 1
Расчет доз внешнего и внутреннего облучения

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 х 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020



0

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

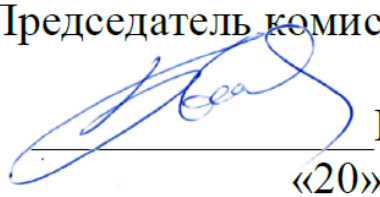
Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 2
Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий

Екатеринбург
2020

Федеральное агентство по образованию
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 2
Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Щапов В.А., старший научный сотрудник
Института геофизики УрО РАН, д-р геол.-мин. наук

Александрова Ж.Н.

А46 Лабораторный практикум по радиационной безопасности: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине "Радиационная безопасность" для студентов специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки» очной и заочной формы обучения; Часть 2. Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий / Ж. Н. Александрова; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 26 с.

В учебно-методическом пособии дан краткий обзор существующих способов реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, приведены приближенная теория и сведения о практическом применении ботанической реабилитации зараженных почв. Пособие содержит руководства к выполнению двух лабораторных работ по изучению распределения радионуклидов в почвах Чернобыльского следа и факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся специализациям «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» по специальности «Технология геологической разведки».

© Александрова Ж.Н., 2020
© Уральский государственный
горный университет, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ …… 4

1. БОТАНИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ……. 5

1.1. Краткий обзор существующих способов дезактивации радиоактивно загрязненных территорий ……..….. 5

1.2. Теория ботанической реабилитации …… 6

1.2.1. Предпосылки к применению метода ботанической реабилитации .. 6

1.2.2. Основные количественные соотношения ……..…….. 11

1.2.3. Оценка сроков реабилитации ……..... 13

1.2.4. Понятие о факторе ботанической реабилитации и способы его количественной оценки …….……..……15

1.3. Практическое применение ботанической реабилитации ……...…. 16

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ……...…. 20

2.1. Изучение распределения радионуклида Cs^{137} в почвах Чернобыльского следа ……....20

Задание ……20

Материалы и оборудование ……...….20

Порядок выполнения работы ……20

Контрольные вопросы ……22

Содержание отчета …….……22

2.2. Определение факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения ..

Задание …….….23

Материалы и оборудование ……...24

Порядок выполнения работы …….….24

Контрольные вопросы ……..25

Содержание отчета …….……..25

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……...26

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних десятилетий в биосфере нашей планеты появились новые компоненты - искусственно синтезированные человеком радиоактивные изотопы. Загрязнение биосферы радиоактивными материалами связано с быстрым ростом атомной промышленности и увеличением применения энергии расщепленного ядра атома.

Проблема радиоактивного загрязнения биосферы привлекает внимание широкого круга специалистов: медиков, биофизиков, геофизиков, радиоэкологов, так как стала очевидна возможная опасность серьезных последствий, вызванных действием на живые организмы ионизирующих излучений, источником которых являются рассеиваемые в природе радиоактивные изотопы.

Особую актуальность эти проблемы приобретают в случае аварийных ситуаций, связанных с выбросами радиоактивных веществ в атмосферу. Такие случаи могут приводить к выведению из сельскохозяйственного оборота больших площадей, где будет невозможно проживание людей и получение продукции, отвечающей нормативным требованиям.

Многие радиоактивные вещества, образующиеся в результате деления тяжелых ядер, играют важную роль в биотическом цикле, в том числе долгоживущие радиоактивные изотопы (например, Sr^{90} и Cs^{137} с периодами полураспада соответственно 28 и 30 лет), так как растворимы в воде и могут участвовать в пищевой цепочке человека. Они активно поглощаются растениями из зараженного почвенного слоя и попадают в продукты питания как растительного, так и животного происхождения.

Повышение уровня радиоактивности в сельском хозяйстве в результате радиоактивного загрязнения почв после выпадения радиоосадков и других возможных причин загрязнения почвенного покрова указывает на необходимость дезактивационных мероприятий, целью которых является исключение неблагоприятных последствий распространения радиоактивных продуктов в природе.

1. БОТАНИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1.1. Краткий обзор существующих способов дезактивации радиоактивно загрязненных территорий

В настоящее время в качестве способов дезактивации загрязненных радионуклидами почв используются механические и химические способы [5], а также пассивное ожидание уменьшения радиационного фона за счет естественного распада радионуклидов.

Механическая дезактивации почвы осуществляется путем удаления верхнего слоя почвы с последующим его захоронением на специально отведенных территориях, либо путем глубокой вспашки, в результате которой верхний горизонт сбрасывается ниже границы корнеобитаемого слоя, а более глубокие горизонты переносятся на дневную поверхность [5]. Указанные приемы существенно снижают плодородие почв, так как они связаны с удалением поверхностного, наиболее плодородного слоя почвы или захоронением этого слоя на глубину. На естественное восстановление изъятого слоя почвы, в зависимости от климатических условий, требуются многие десятки и даже сотни лет [4]. Кроме того, механическая дезактивация абсолютно не пригодна для песчаных почв с тонким плодородным слоем, как, например, в Белоруссии, поскольку ее осуществление может привести к невозможности дальнейшего сельскохозяйственного использования таких территорий. Другим ограничивающим фактором для применения механической дезактивации является трудность, связанная с транспортировкой большой снятой массы почвы и организацией специальных "могильников". Здесь возникают проблемы ветровой эрозии и загрязнения грунтовых и питьевых вод.

При химической дезактивации почв предлагается проводить выщелачивание радиоактивных изотопов Cs^{137} и Sr^{90} с помощью химических агентов. Однако применение этой технологии связано с проблемой выбора химического агента. Невозможно подобрать такой агент, который действовал бы только на

атомы Cs^{137} и Sr^{90}, поскольку в системе почва - почвенный раствор будут всегда находиться различные соединения других элементов, которые так же, как соединения Cs^{137} и Sr^{90}, будут вступать в реакции с этим агентом. Применение химических соединений может ухудшать физические и химические свойства почв и приводить их в состояние, когда нормальная жизнедеятельность растений будет затруднена или исключена вовсе. Кроме того, химическое выщелачивание опасно применять на территориях с неглубоким уровнем грунтовых вод, так как это может привести к загрязнению последних.

Пассивное ожидание снижения уровня радиоактивности за счет естественного распада изотопов Cs^{137} и Sr^{90} предусматривает исключение загрязненных территорий из сельскохозяйственного использование и может растянуться, в зависимости от степени загрязнения, на сотни лет, так как указанные радионуклиды имеют большие периоды полураспада. Активность изотопов до безопасных пределов в 1000 раз уменьшается за десять периодов.

Таким образом, возникает необходимость в такой технологии дезактивации, которая была бы лишена отмеченных недостатков - не наносила бы экологического ущерба почвам и другим экосистемам и позволяла бы сократить сроки их реабилитации. Указанных недостатков лишена ботаническая дезактивация радиоактивно загрязненных территорий.

1.2. Теория ботанической реабилитации

1.2.1. Предпосылки к применению метода ботанической реабилитации

О способности растений накапливать различные химические элементы известно давно. Еще древние римляне предполагали, что растительный покров отражает до некоторой степени характер подпочвы. Взаимосвязь между растительностью и ее подпочвой использовали рудоискатели Европы и Китая уже 400 лет назад при поисках месторождений.

Русский геолог Карпинский А.М. [3] был одним из первых, кто установил, что отдельные ассоциации растений существуют на отличительных под-

почвах, таких как песчаники, глины, известняки и т.д., и что распределение растительного покрова может быть использовано для характеристики геологических особенностей района. Его классические работы в конечном итоге служат введением в геоботанику индикаторов, которая стала изучать растительный покров и его разновидности, указывающие на условия окружающей среды.

Способность растений по-разному аккумулировать химические элементы можно использовать в практических целях для очищения загрязненных территорий от радиоактивных продуктов деления с помощью отчуждения выращенной растительной массы и последующей ее утилизации.

Эффективность технологии фитодезактивации загрязненных территорий зависит от ряда факторов: используемых видов растительности, их морфофизиологических особенностей, длительности вегетационного периода, а также от свойств дезактивируемых почв и применяемых агрохимичеких и агротехнических приемов, которые позволяли бы усиливать поступление радионуклидов из почв в растения, то есть управлять выносом радиоактивных элементов [3].

Существует несколько возможностей управления переходом раиоизотопов из почв в растения: 1) использование растений-гипераккумуляторов радиоактивных элементов, 2) стимуляция роста растений-гипераккумуляторов для получения наибольшей биомассы, 3) улучшение доступности радионуклидов для корневого питания растений

Способность растений накапливать радиоактивные элементы оценивается по факторам перехода радионуклида из почв в растения [2].

Фактор перехода (доля радиоактивности, переходящая из загрязненной почвы в зеленую массу растения) представляет собой следующее отношение:

$$\varphi_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_i}, \qquad (1)$$

где A_{ij} - удельная активность [*Бк/кг*] *i*-го радионуклида в *j*-ом растении; A_i - удельная активность [*Бк/кг*] *i*-го радионуклида в почве.

В таблице 1 приведены экспериментально установленные величины фак-

торов перехода радионуклида Cs^{137} для некоторых растений локального участка Чернобыльского следа [1], среди которых как культурные (*рожь посевная, клевер белый, клевер луговой красный, люцерна* и др.), так и дикие представители флоры. Растения ранжированы в порядке убывания их факторов перехода.

таблица 1

	Название растения	φ, отн.ед.		Название растения	φ, отн.ед.
1	*Кипрей болотный*	0,671	34	*Повой заборный*	0,040
2	*Очиток пурпурный*	0,244	35	*Будра плющевидная*	0,039
3	*Осока острая*	0,242	36	*Крестовник луговой*	0,035
4	*Шлемник обыкновенный*	0,230	37	*Зверобой продырявленный*	0,034
5	*Мышиный горошек*	0,221	38	*Астрагал болотный*	0,034
6	*Жерушник*	0,208	39	*Вербейник обыкновенный*	0,034
7	*Горец земноводный*	0,208	40	*Вязель пестрый*	0,034
8	*Язвенник Линнея*	0,199	41	*Донник желтый*	0,034
9	*Череда трехраздельная*	0,194	42	*Пижма обыкновенная*	0,031
10	*Клевер белый*	0,168	43	*Поручейник широколистный*	0,030
11	*Двукисточник тростниковый*	0,147	44	*Дрок красильный*	0,029
12	*Дудник обыкновенный*	0,146	45	*Болиголов пятнистый*	0,029
13	*Горичник Любименко*	0,129	46	*Девясил британский*	0,026
14	*Чистец болотный*	0,116	47	*Полынь обыкновенная*	0,024
15	*Лютик ползучий*	0,113	48	*Льнянка обыкновенная*	0,022
16	*Чахотная трава*	0,109	49	*Марь белая*	0,022
17	*Папоротник мужской*	0,104	50	*Щавель конский*	0,021
18	*Вероника длиннолистная*	0,098	51	*Кострец безостый*	0,020
19	*Хвощ приречный*	0,090	52	*Подмаренник мягкий*	0,019
20	*Дербенник иволистный*	0,089	53	*Одуванчик лекарственный*	0,017
21	*Люцерна хмелевидная*	0,082	*54*	*Луговик дернистый*	0,016
22	*Донник белый*	0,072	55	*Марь узколистная*	0,016
23	*Звездчатка злаковая*	0,069	56	*Лопух большой*	0,016
24	*Клевер луговой красный*	0,064	57	*Цикорий обыкновенный*	0,015
25	*Икотник серый*	0,063	58	*Тысячелистник обыкновенный*	0,015
26	*Мята болотная*	0,062	59	*Молочай обыкновенный*	0,014
27	*Клевер сходный*	0,053	60	*Бальзамин*	0,014
28	*Рожь посевная*	0,047	61	*Клевер шуршащий*	0,013
29	*Чистотел большой*	0,046	62	*Василек луговой*	0,012
30	*Редька дикая*	0,043	63	*Зюзник европейский*	0,011
31	*Подорожник большой*	0,043	64	*Мальва культурная*	0,010
32	*Ежа сборная*	0,042	65	*Спаржа лекарственная*	0,007
33	*Частуха подорожная*	0,041	66	*Пырей ползучий*	0,007

Обращает на себя внимание тот факт, что все растения в той или иной мере накапливают радиоактивный цезий. Диапазон изменения факторов перехода для различных видов растений очень велик и достигает трех порядков.

Максимальными факторами перехода характеризуются *кипрей болотный* (0,671), *очиток пурпурный* (0,244), *осока* (0,242), *шлемник обыкновенный* (0,23), *мышиный горошек* (0,221), *жерушник* (0,208) и другие растения, которые можно отнести к гипераккумуляторам радиоактивного цезия.

Минимальными факторами перехода обладают *полынь горькая* (0,001), *пырей ползучий* (0,007), *спаржа лекарственная* (0,007), которые можно назвать гипоаккумуляторами Cs^{137}.

Обращает на себя внимание тот факт, что некоторые виды растений способны в больших количествах накапливать радионуклиды (более 20 % от содержания последних в почве). Это обстоятельство являются предпосылкой для ботанической реабилитации площадей, загрязненных по типу Чернобыльского следа.

Сущность указанного способа реабилитации заключается в следующем. На почвах, подлежащих очистке от радиоактивного загрязнения, систематически выращиваются растения, характеризующиеся максимальной способностью к извлечению радиоактивного элемента из питающей среды (почвы), то есть растения-гипераккумуляторы Cs^{137} (*мышиный горошек*, *шлемник обыкновенный* и другие). Урожай, обогащенный частично выведенными из почвы радионуклидами скашивается, озоляется и утилизируется. При этом цикл "выращивание гипераккумуляторов - скашивание - утилизация" повторяется до тех пор, пока уровень радиоактивности почвы не окажется соответствующим нормам радиационной безопасности.

Описанный способ позволяет сохранить плодородный почвенно-растительный слой и значительно сокращает срок реабилитации загрязненных площадей, если иметь в виду только естественную убыль активности загрязняющего радионуклида за счет распада.

При использовании технологии ботанической реабилитации почв, загрязненных радионуклидом Cs^{137}, важно знать характер распределения этого радионуклида в почвенном слое. Это может иметь значение при решении вопроса: доступен ли Cs^{137} для корневой системы растений.

На рис. 1 представлены результаты исследования распределения Cs^{137} по глубине почвенных разрезов [5]. Приведенные данные характеризуют ситуацию на 1995 год – спустя 9 лет после аварийного выброса на Чернобыльской АЭС. Из рисунка видно, что вся радиоактивность сосредоточена в верхнем 20-сантиметровом слое, а основная ее доля (около 90 %) - в 10-сантиметровом слое. Таким образом, скорость вертикальной миграции радионуклида Cs^{137} невелика, и ожидать значительного "самоочищения" почвы в ближайшие десятилетия не приходится. В настоящее время радиоцезий находится в корнеобитаемом почвенном слое и доступен растениям.

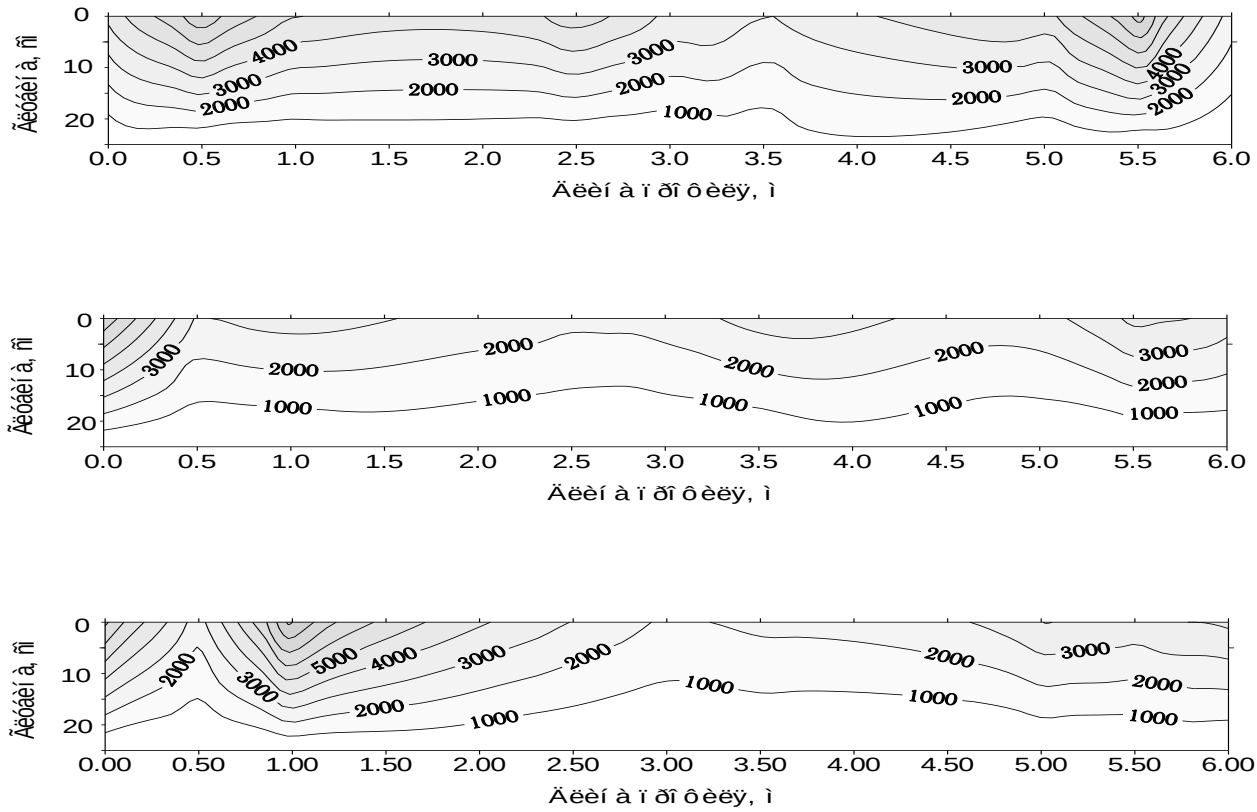


Рис. 1. Распределение удельной активности Cs^{137} по глубине нескольких почвенных разрезов Чернобыльского следа. Отметки изолиний соответствуют Бк/кг [1].

1.2.2. Основные количественные соотношения

Оценим время *t*, необходимое для снижения активности *i*-го радионуклида от начального a_{oi} до заданного $a_i(t)$ значения. При этом ограничимся только двумя из возможных факторов реабилитации – естественным остыванием и ботаническим выведением *i*-ой компоненты из среды загрязнения при культивировании растений *j*-го вида.

Предполагается, что в процессе "отсасывания" растениями *i*-го радионуклида, его количество, переходящее при прочих равных условиях из почвы в зеленую массу (подлежащую после созревания обязательной утилизации) составляет определенную, характерную для данного нуклида *i* и данного растения *j* долю активности *i*-ой компоненты, находящейся в среде загрязнения (почве).

Другими словами, фактор перехода φ_{ij} *i*-го радионуклида в зеленую массу *j*-го растения является константой, хотя результаты прямых измерений свидетельствуют о неустойчивости параметра φ_{ij}.

С учетом указанного выше допущения, формула для срока ботанической реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом *i*, остывающим с постоянной распада λ_i, выглядит следующим образом:

$$t = -\left(\frac{\tau_i \tau_{ij}}{\tau_i + \tau_{ij}}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \qquad (2)$$

где τ_i - средняя продолжительность жизни ядер *i*-го радионуклида; τ_{ij} - средняя продолжительность пребывания *i*-го радионуклида в загрязненной почве с учетом его выведения (эвакуации) *j*-ым растением (при заданных параметрах урожайности).

Из формулы (2) видно, что для оценки сроков реабилитации необходимо иметь количественные сведения о параметре τ_{ij}, поскольку остальные величины либо табулированы (τ_{ij}), либо известны из результатов непосредственных измерений (a_{oi}) или заданы [$a_i(t)$].

Прежде всего, оценим величину t для частных случаев.

1. Если $\tau_i << \tau_{ij}$, то

$$t \approx -\tau_{ij} \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \tag{3}$$

В этом случае срок реабилитации будет определяться средней продолжительностью пребывания радионуклида i в среде загрязнения в связи с ботаническим фактором.

2. Допустим, что $\tau_i >> \tau_{ij}$, тогда

$$t \approx -\tau_i \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \tag{4}$$

Если средняя продолжительность естественного остывания i-го радионуклида невелика в сравнении с продолжительностью ботанического выведения, то срок реабилитации будет определяться параметром τ_i.

3. В частном случае, когда $\tau_i = \tau_{ij}$

$$t = -\frac{\tau_i}{2} \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} , \tag{5}$$

то есть в этом случае срок реабилитации сокращается вдвое по сравнению с естественным остыванием.

Сопоставляя сроки реабилитации с использованием механизма ботанического выведения (t_{ij}) и без него (t_i) имеем при прочих равных условиях

$$\frac{t_i}{t_{ij}} = 1 + \frac{\tau_i}{\tau_{ij}} . \tag{6}$$

Поскольку параметры τ_i, τ_{ij} больше нуля, то правая часть (6) будет больше единицы.

Другими словами, при любых соотношениях между параметрами естественного остывания τ_i и ботанического выведения τ_{ij} срок реабилитации с применением технологии ботанического выведения оказывается меньше, чем без его использования, то есть в любом случае $t_{ij} < t_i$.

Для расчета параметра τ_{ij} введем понятие периода ботанического полувыведения T_{ij}, под которым будем понимать время, необходимое для выноса половины *i*-ой компоненты *j*-ым растением при некотором уровне урожайности.

Учитывая отмеченное, имеем для функции выживания *i*-го радионуклида в среде культивирования *j*-го аккумулятора:

$$1 - n\frac{m_j}{M}\varphi_{ij} = 2^{-k_{ij}}, \tag{7}$$

где m_j - урожайность (масса с единицы площади) аккумулирующей зеленой массы; M - масса загрязненного корнеобитаемого почвенного слоя единичной площади; n - кратность утилизации (количество урожаев за сезон); k_{ij} - срок выращивания *j*-го растения (промежуток времени Δt) в нормировке к периоду полувыведения *j*-ым растением *i*-го радионуклида (T_{ij}), то есть

$$k_{ij} = \frac{\Delta t}{T_{ij}} \ . \tag{8}$$

Если отношение nm_j / M обозначить через μ_j, тогда

$$T_{ij} = -\left(\frac{\ln 2}{\ln\left(1 - \mu_j \varphi_{ij}\right)}\right)\Delta t, \tag{9}$$

откуда для τ_{ij} имеем

$$\tau_{ij} = -\frac{\Delta t}{\ln\left(1 - \mu_j \varphi_{ij}\right)}. \tag{10}$$

Подставляя выражение для параметра τ_{ij} в формулу (2), получим выражение для оценки срока ботанической реабилитации почвы:

$$t = \left(\frac{\tau_i \Delta t}{\tau_i \ln\left(1 - \mu_j \varphi_{ij}\right) - \Delta t}\right)\ln\frac{a_i(t)}{a_{oi}}. \tag{11}$$

1.2.3. Оценка сроков реабилитации

Оценим время t для предельных случаев.

1. Если $\mu_j \varphi_{ij} \to 0$, то есть переход *i*-го радионуклида из почвы в растительную массу практически отсутствует. Тогда

$$t \to -\tau_i \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}}. \tag{12}$$

Это означает, что срок реабилитации почвы будет определяться лишь естественным остыванием *i*-го радионуклида.

2. Если $\mu_j \varphi_{ij} \to 1$, то есть практически вся активность за время Δt из почвы переходит в растительную массу. При этом

$$\frac{a_i(t = \Delta t)}{a_{oi}} \to 0 \tag{13}$$

и тогда

$$t \to \Delta t \tag{14}$$

В этом случае срок реабилитации почвы будет определяться лишь длительностью вегетационного периода Δt и может составить несколько месяцев.

Для большинства растений $0 < \mu_j \varphi_{ij} < 1$. На рис. 2 представлена оценка по соотношению (11) срока реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом Cs^{137}, при использовании в качестве средства дезактивации растения *мышиный горошек*.

Так, для гипераккумулятора *мышиный горошек* $\varphi_{ij} = 0{,}221$, его урожайность m_j при благоприятных условиях составляет 11 *т/га*. Масса загрязненного почвенного слоя площади 1 *га*, мощности 10 *см* и плотности 1 *г/см*^{3} равна 1000 *т*. При двух укосах (n=2) за вегетационный период ($\Delta t = 0{,}25$ года) величина $\mu_j = 0{,}022$. Для уменьшения активности радионуклида Cs^{137} ($\tau_i = 43$ года) в загрязненной почве в 10 раз потребуется время равное 55 годам, для снижения почвенной радиоактивности в 5 раз - примерно 38 лет, в 2 раза - примерно 16 лет (рис. 2).

Рассчитанные сроки оказываются значительно меньше сроков реабилитации почвы без ботанического выведения радиоактивной компоненты. Так, за

счет естественного распада Cs^{137} его активность в почве снижается в 10 раз через 104 года. Это примерно в 2 раза больше, чем при использовании в качестве средства дезактивации *мышиного горошка*.

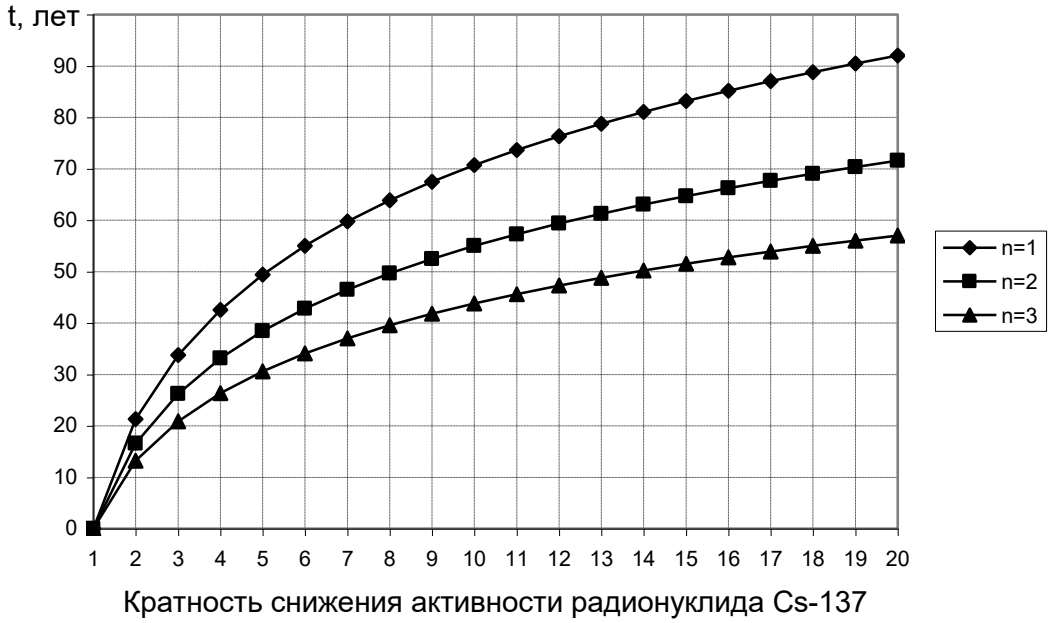


Рис. 2. Оценка срока реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом Cs^{137}, при использовании в качестве средства дезактивации растения *мышиный горошек*.

1.2.4. Понятие о факторе ботанической реабилитации и его количественная оценка

Выражение (11) для срока ботанической реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом *i*, можно упростить, имея в виду разложение

$$\ln(1-a)\big|_{a<<1} \approx -a\,. \tag{15}$$

С учетом (15) формула (11) выглядит следующим образом:

$$t \approx -\left(\frac{\tau_i \Delta t}{\tau_i \varphi_{ij} \mu_j + \Delta t}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}}\ , \tag{16}$$

или

$$t_i \approx -\left(\frac{\tau_i}{1+\dfrac{\tau_i}{\Delta t}\varphi_{ij}\mu_j}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}}\ . \tag{17}$$

Обозначив $\theta_i = \tau_i / \Delta t$, получим:

$$t_i \approx -\left(\frac{\tau_i}{1+\theta_i \varphi_{ij} \mu_j}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \ , \qquad (18)$$

или

$$t_i \approx -\left(\frac{\tau_i}{1+R}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \ , \qquad (19)$$

где $R = \mu_j \theta_i \varphi_{ij}$ - фактор ботанической реабилитации.

Из формулы (19) видно, что при $R = 0$ реабилитация будет связана только с естественным остыванием радиоактивной компоненты, то есть

$$t_i \approx -\tau_i \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \ . \qquad (20)$$

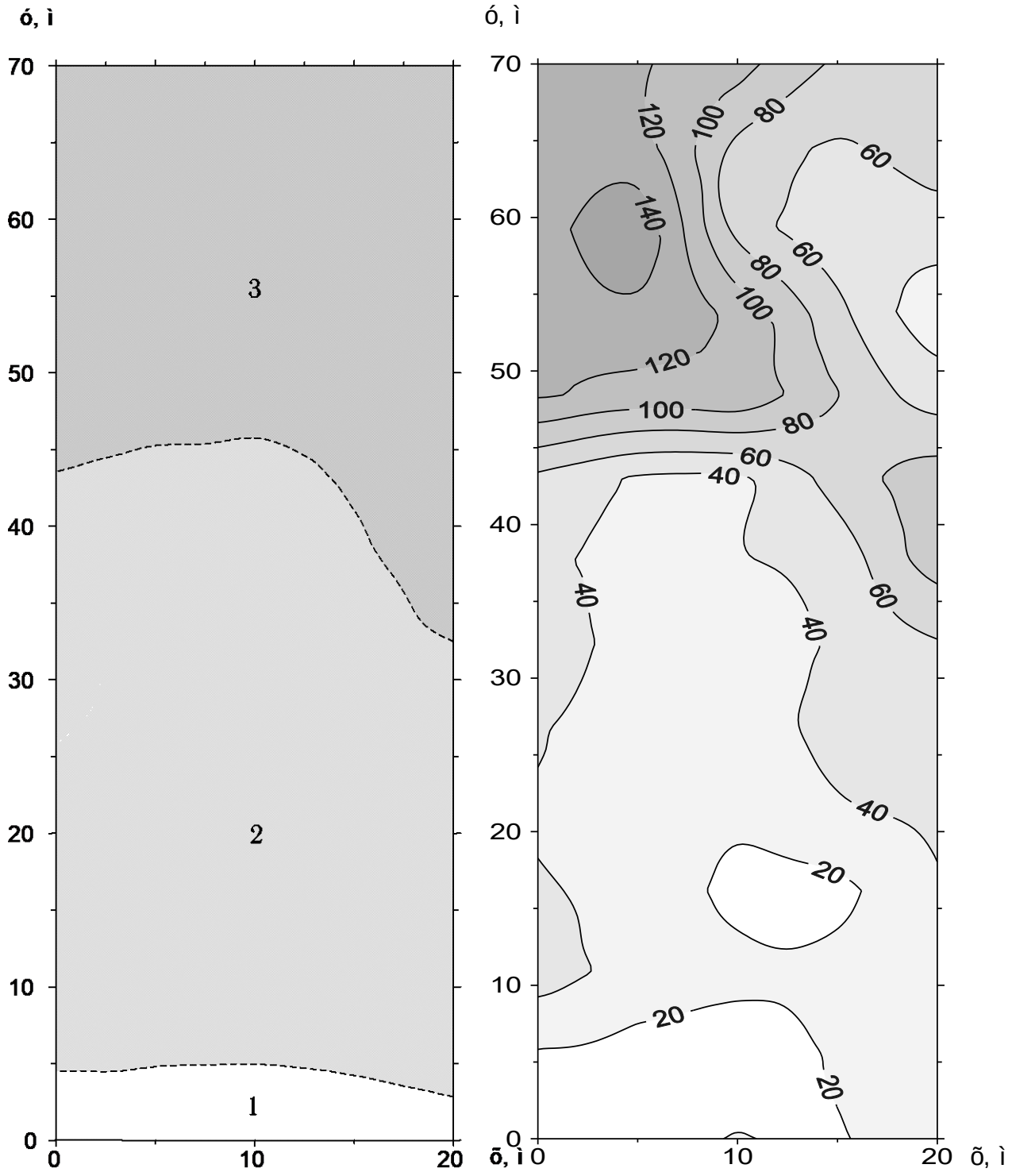
С возрастанием фактора реабилитации R, который включает в себя несколько составляющих, сроки дезактивации почвы уменьшаются и наоборот.

1.3. Практическое применение ботанической реабилитации

Результаты практического применения технологии ботанической реабилитации подтверждают ее основные теоретические положения и указывают на возможности очистки почв от радиоактивного загрязнения путем систематического отчуждения фитомассы, обогащенной радионуклидами.

Примером может служить один из участков Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа), сформировавшегося в результате Кыштымской аварии 1957 года на ПО "Маяк". Участок располагается в южной части Каменского района Свердловской области в окрестностях оз. Тыгиш, где в настоящее время наблюдаются наибольшие остаточные уровни радиоактивного загрязнения, Содержание Sr^{90} в отдельных почвенных пробах соответствует плотности поверхностного загрязнения 5 и более *Ки/км*^{2}.

Участок представлен почвами, с которых велся регулярный в послеаварийный период укос травы, и почвами, где отчуждение фитомассы не производилось (рис. 3а). Уровень загрязнения участка по Sr^{90} на 1997 год – до 1 *Ки/км*^{2}.



а) б)

Рис. 3. а) Схема расположения различных по использованию почв на участке радиоэкологических исследований. б) Распределение β-активности по площади исследованного участка. Отметки изолиний соответствуют *имп/мин*.

Обозначения: 1 - сенокос на рекультивированной почве, 2 - сенокос на целинной почве, 3 - участок леса, где скашивание травы в послеаварийный период не производилось [1].

Так, северо-западную часть участка занимают почвы с погребенным гумусовым горизонтом, образование которого связано с проведением в начальный послеаварийный период серии дезактивационных работ. Последние были проведены на территории ВУРСа в зонах с максимальной плотностью загрязнения, и они представляют собой высокую отвальную вспашку, в результате которой верхняя часть гумусового профиля оказалась перемещенной на глубину 50-90 см. В настоящее время на этой почве производится выращивание многолетних трав, скашивание ведется с применением техники.

Средняя часть участка занята почвами, незатронутыми дезактивационными мероприятиями и которые с 1957 года используются местными жителями как естественный сенокос, скашивание ведется вручную.

И, наконец, юго-западную часть занимает лес. Эти почвы также не затронуты дезактивационными работами, но укос травы с них не производится даже вручную из-за наличия большого количества древесной растительности.

Исследования распределения β-активности по площади участка (Sr^{90} и его дочерний продукт Y^{90} являются β-излучателями) показали, что активность по β-лучам в той части участка, где производилось регулярное с момента загрязнения скашивание растительности, оказалась заметно ниже, чем в точках наблюдений, расположенных за пределами этой части, то есть где укос травы не производился (рис. 3б).

Контраст в аппаратурном отклике по β-лучам хорошо виден на рис. 4, где представлена интенсивность β-излучения по одному из съемочных профилей участка. Так, минимальной β-активностью – 20 *имп/мин* характеризуются вспаханные рекультивированные почвы, на сенокосе β-отклик составил 30-40 *имп/мин*, а на территории леса отмечается максимальная активность по β-лучам – 80-140 *имп/мин*, что примерно в 3 раза больше, чем на сенокосе.

Систематическое скашивание и эвакуация растительности с фактором перехода по радиостронцию $\varphi_{ij} = 0{,}25$ с зараженной территории за 39 лет умень-

шили активность почв в 10 раз. Это сократило время, необходимое на такое снижение активности, более чем в 2 раза. Выращивание и утилизация *шлемника обыкновенного* с фактором перехода $\varphi_{ij} = 0{,}93$ могло бы обеспечить снижение активности Sr^{90} в почве в 10 раз, которое удалось зарегистрировать на участке, не за 39 лет, а примерно за 15 лет. Таким образом, возможность использования технологии ботанической реабилитации радиоактивно загрязненных почв получила экспериментальное подтверждение на локальном участке Восточно-Уральского радиоактивного следа [1].

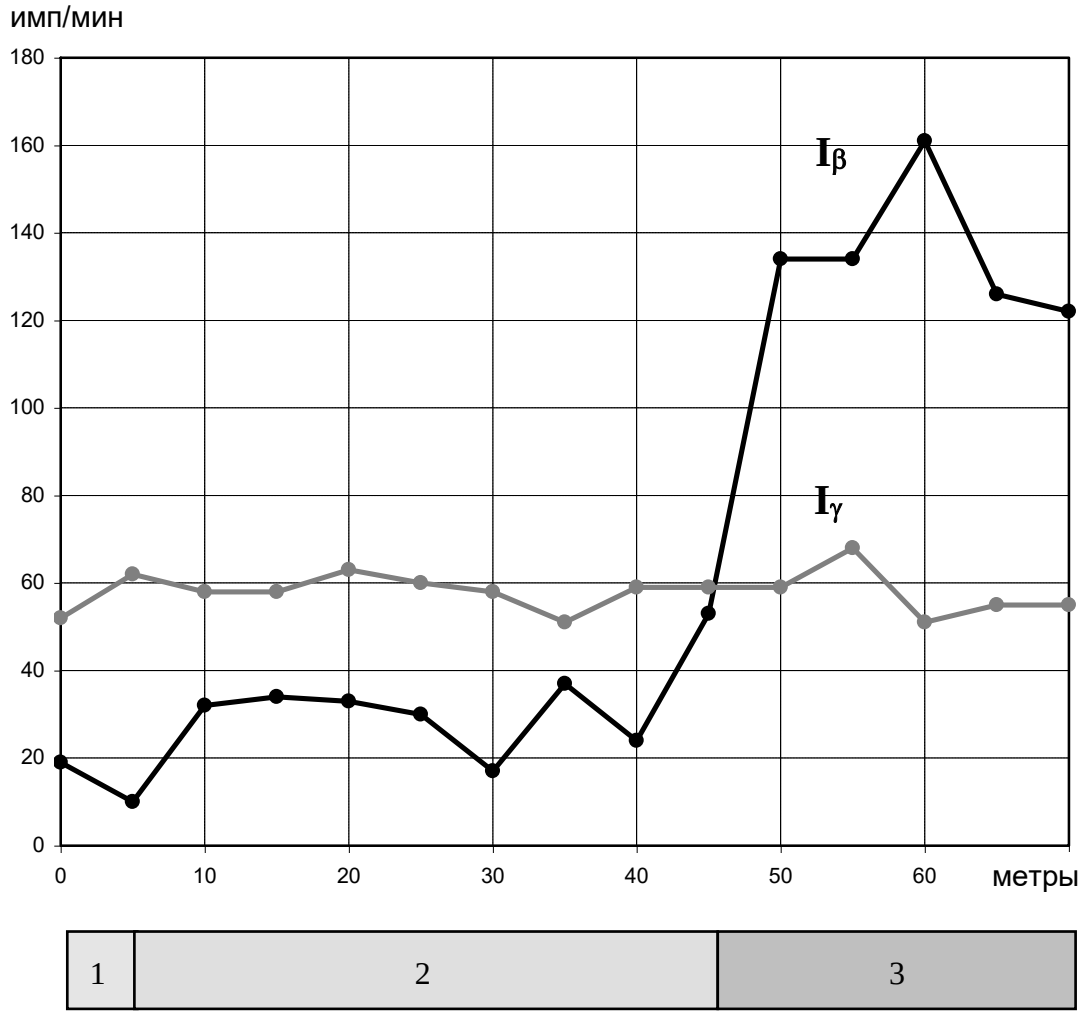


Рис. 4. Интенсивность β- и γ-излучения по съемочному профилю. Обозначения: 1- сенокос на рекультивированной почве, 2 - сенокос на целинной почве, 3 - лес.

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

2.1. Изучение распределения радионуклида Cs^{137} в почвенном слое Чернобыльского следа

Задание

а) С помощью лабораторного гамма-спектрометра "Гамма-01С" зарегистрировать спектры гамма-излучения почвенных проб, отобранных на территории Чернобыльского следа с разной глубины почвенного слоя.

б) Произвести обработку полученных спектров и вычислить удельную активность радионуклида Cs^{137} в почвенных образцах.

в) Построить график вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном слое.

г) Сделать выводы о соответствии удельной активности Cs^{137} в почвенных образцах нормам радиационной безопасности и максимальной концентрации радиоактивного цезия в почвенном разрезе.

Материалы и оборудование

1. Лабораторный гамма-спектрометр "Гамма-01С".
2. Набор почвенных проб, отобранных на территории Чернобыльского следа с разной глубины почвенного слоя.
3. Эталон Cs^{137} с известной удельной активностью.
4. Набор образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).
5. Калькулятор, миллиметровка, карандаш, резинка, линейка.

Порядок выполнения работы

а) Лабораторный спектрометр подготовить к работе: прогреть в течение 10 минут, произвести градуировку энергетической шкалы с помощью образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).

б) Зарегистрировать спектр гамма-излучения эталонного образца Cs^{137} с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения эталона $S_{эт}$.

в) Зарегистрировать спектр фонового гамма-излучения с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь $S_ф$, соответствующую энергетическому интервалу фотопика Cs^{137} на спектре фонового гамма-излучения эталона.

г) Взвесить почвенные образцы. Зарегистрировать спектры их гамма-излучения с экспозицией 10 *мин* (рис. 5). Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения каждой почвенной пробы S_{ni}.

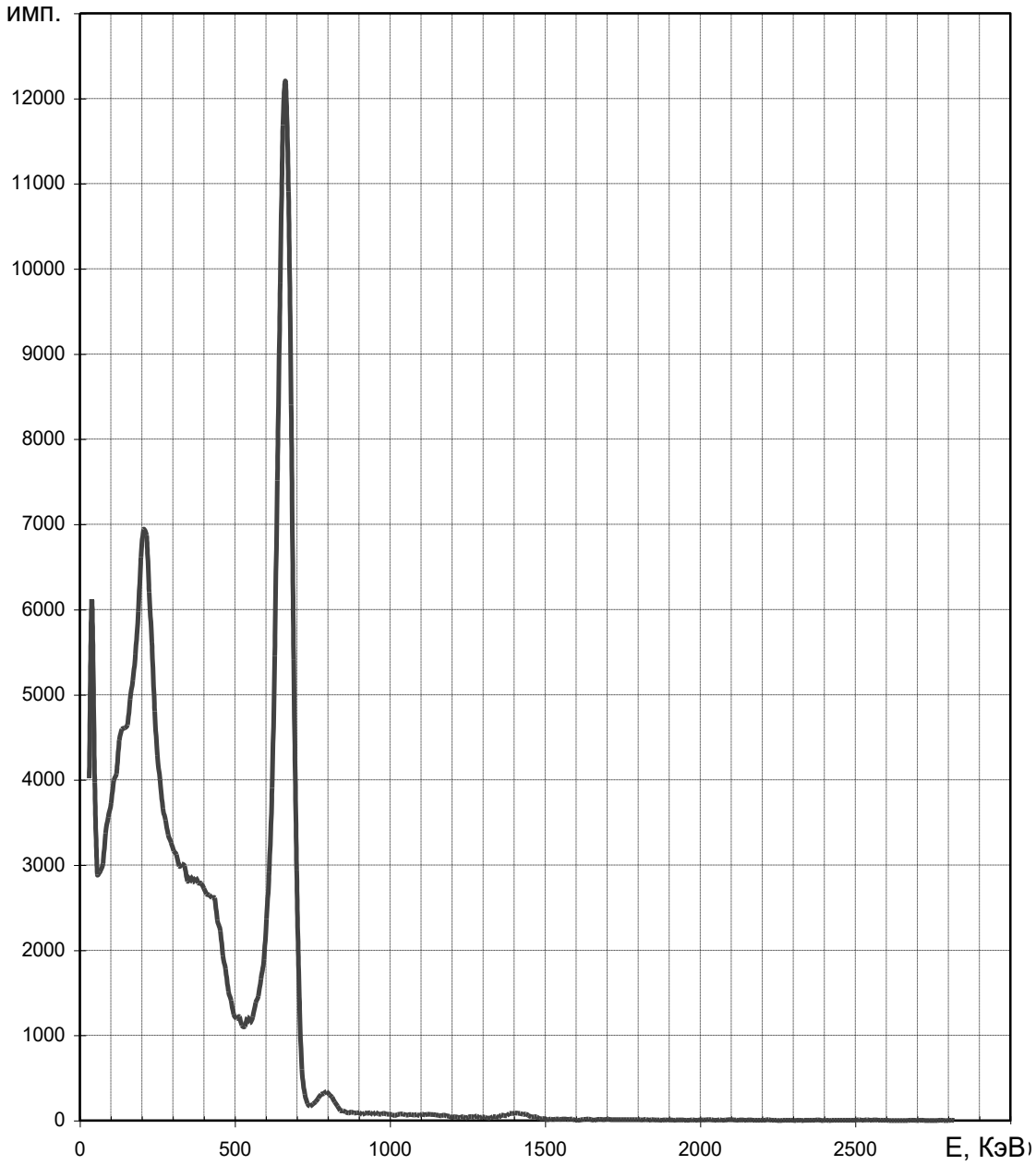


Рис. 5. Спектр гамма-излучения почвенной пробы локального участка Чернобыльского следа. Время измерения – 10 *мин.*, масса – 100 *г*.

д) Вычисление удельной активности Cs^{137} в *i*-ом почвенном образце производится по формуле:

$$A_{ni} = A_{эт} \cdot \frac{S_{ni}}{S_{эт}} \cdot \frac{t_{эт}}{t_n} \cdot \frac{m_{эт}}{m_n}, \qquad (21)$$

где $A_{эт}$ - удельная активность Cs^{137} в эталонном образце в *Бк/кг*; S_{ni} - площадь фотопика Cs^{137} на спектре γ-излучения *i*-ой почвенной пробы в *имп*; $S_{эт}$ - площадь фотопика Cs^{137} на спектре γ -излучения эталона в *имп*; $t_{эт}$ – время регистрации спектра эталонной пробы в *с*; t_{ni} – время регистрации спектра почвенной пробы в *с*; $m_{эт}$ – масса эталонной пробы в *г*; m_{ni} – масса почвенной пробы в *г*.

е) График вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном слое представить в виде гистограммы, образец которой приведен на рис. 6.

ж) Описать полученные результаты. Указать, находится ли Cs^{137} в корнеобитаемом почвенном слое, или он недоступен для корневого питания растений.

Контрольные вопросы

1. Какова основная цель изучения распределения радионуклида Cs^{137} в почвах Чернобыльского следа ?
2. Какова скорость вертикальной миграции радионуклида Cs^{137} в почвах?
3. Чем определяется скорость вертикальной миграции радионуклида Cs^{137} в почвах ?
4. Какие радионуклиды, кроме Cs^{137}, обнаружены Вами в почвенных образцах ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.
2. Порядок выполнения измерений и последующей обработки данных.
3. График вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном разрезе.
4. Выводы.

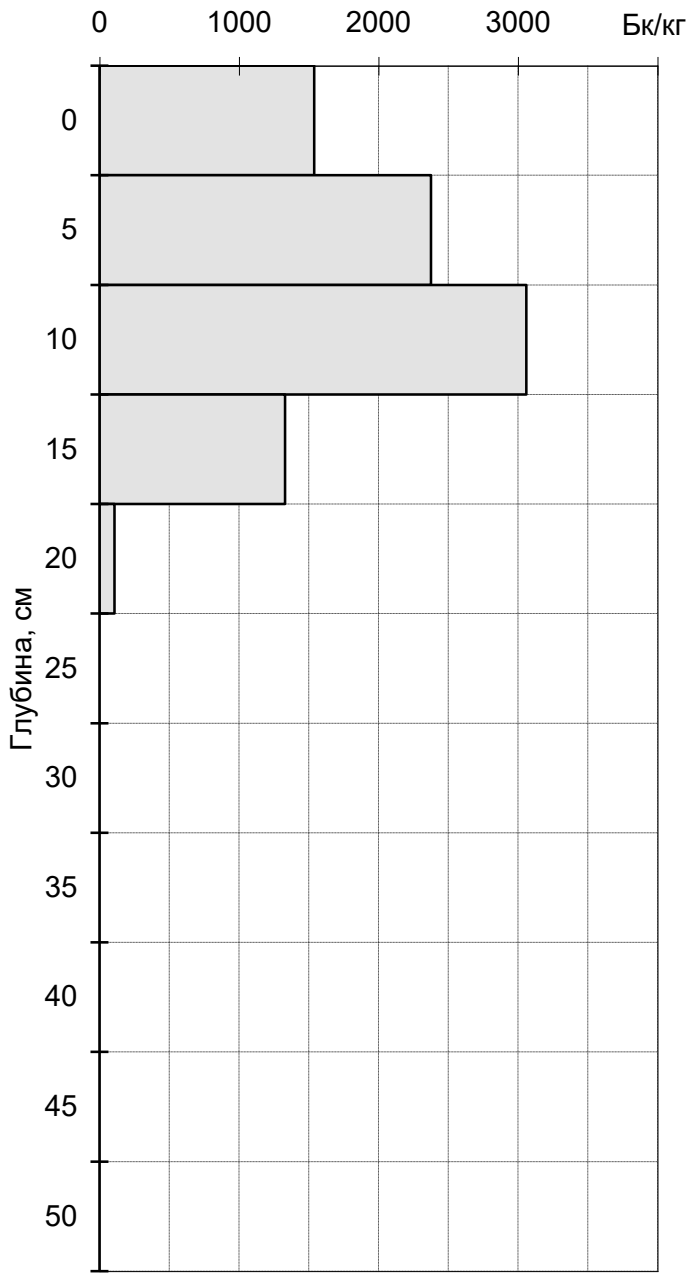


Рис. 6. Образец оформления графика вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном разрезе.

2.2. Определение факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения

Задание

а) С помощью лабораторного гамма-спектрометра "Гамма-01С" зарегистрировать спектры гамма-излучения растительных и почвенных проб, отобранных на территории Чернобыльского следа.

б) Произвести обработку полученных спектров и вычислить удельную активность радионуклида Cs^{137} в растительных и почвенных образцах.

в) Рассчитать факторы перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения.

г) Сделать выводы.

Материалы и оборудование

1. Лабораторный гамма-спектрометр "Гамма-01С".
2. Эталон Cs^{137} с известной удельной активностью.
3. Набор образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).
4. Пробы растений *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.
5. Пробы почв, соответствующие растениям *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.
6. Калькулятор, карандаш, резинка.

Порядок выполнения работы

а) Лабораторный спектрометр подготовить к работе: прогреть в течение 10 минут, произвести градуировку энергетической шкалы с помощью образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).

б) Зарегистрировать спектр гамма-излучения эталонного образца Cs^{137} с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения эталона $S_{эт}$.

в) Зарегистрировать спектр фонового гамма-излучения с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь $S_ф$, соответствующую энергетическому интервалу фотопика Cs^{137} на спектре фонового гамма-излучения эталона.

г) Взвесить подготовленные растительные образцы для *мышиного горошка* и *шлемника обыкновенного*. Зарегистрировать спектры их гамма-излучения с экспозицией 15 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения каждой растительной пробы S_{pj}.

д) Взвесить почвенные образцы, соответствующие растениям *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*. Зарегистрировать спектры их гамма-излу-

чения с экспозицией 5 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения каждой почвенной пробы S_{nj}.

е) По формуле (21) рассчитать удельную активность Cs^{137} в растительных и соответствующих им почвенных образцах.

ж) По соотношению (1) вычислить факторы перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.

з) Сделать заключение, относятся ли исследованные растения к гипераккумуляторам радиоактивного цезия или нет.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы реабилитации радиоактивно загрязненных территорий ? Каковы их недостатки и преимущества ?
2. Что такое фактор перехода радионуклида из почвы в растение ?
3. Какие растения-гипераккумуляторы радиоактивного цезия Вы можете назвать ?
4. Как можно оценить срок ботанической реабилитации почвы ?
5. Какие факторы влияют на срок ботанической реабилитации почвы ?
6. Что такое фактор ботанической реабилитации почвы ?
7. Как влияет фактор ботанической реабилитации на сроки снижения почвенной активности ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.
2. Порядок выполнения измерений и последующей обработки данных.
3. Результаты расчета факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.
4. Выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Ж.Н.* Ядерно-физические измерения параметров ботанической реабилитации радиоактивно загрязненных площадей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата геол.- минерал. наук. – Екатеринбург, 1998. – 147 с.

2. *Александрова Ж.Н., Возженников Г.С.* О возможности ботанической реабилитации загрязненных площадей Восточно-Уральского радиоактивного следа // Международная выставка-семинар "Уралэкология-95": Тез. докл. – Екатеринбург, 1995. – с.190-191.

3. *Антропогенная радионуклидная аномалия и растения* / Гродзинский Д.М., Коломиец К.Д., Кутлахмедов Ю.А. и др. – Киев: Лыбидь, 1991. – 156 с.

4. *Брукс Р.Р.* Биологические методы поисков полезных ископаемых: Пер. с англ. – М.: Недра, 1986. – 311 с.

5. *Поляков Ю.А.* Радиоэкология и дезактивация почв. – М.: Атомиздат, 1970. – 142 с.

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть 2
Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНИСТЕРСТВОНАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова, Ю. В. Белышев

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

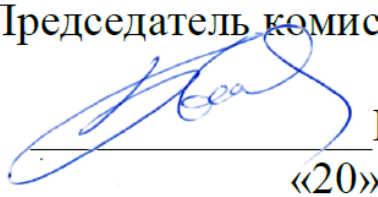
Часть 3

Определение радона в воде

Екатеринбург
2020

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова, Ю. В. Белышев

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 3
Определение радона в воде

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Щапов В.А., старший научный сотрудник
Института геофизики УрО РАН, д-р геол.-мин. наук

Александрова Ж.Н., Белышев Ю.В.

А46 Лабораторный практикум по радиационной безопасности: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине "Радиационная безопасность" для студентов специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки» очной и заочной формы обучения; Часть 3. Определение радона в воде / Ж. Н. Александрова, Ю. В. Белышев; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 23 с.

В учебно-методическом пособии приводятся сведения о радиоактивном газе радоне, дан краткий обзор существующих способов его определения. Описан полевой эманометр «Радон» и порядок работы с ним. Пособие содержит руководство к выполнению лабораторной работы по определению концентрации радона в воде.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся специализациям «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» по специальности «Технология геологической разведки».

© Александрова Ж.Н., Белышев Ю.В., 2018
© Уральский государственный горный университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭМАНАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ……... 4

1.1 Свойства радона …… 4

1.2 Радон в воздухе зданий …… 6

1.3 Радон в питьевой воде …….. 7

1.4 Способы определения радона ……..…. 8

2. ПОЛЕВОЙ ЭМАНОМЕТР «РАДОН» ……. 13

2.1 Основные технические данные и характеристики прибора ….. 14

2.2 Устройство и принцип работы прибора ……..…..... 14

2.3 Подготовка прибора и измерительной установки к работе …..... 15

2.4 Градуирование прибора ……. 16

3. ПРОГРАММА ИЗМЕРЕНИЙ ……... 18

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ …….……..……... 22

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……..… 23

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭМАНАЦИОННЫХ МЕТОДОВ

1.1 Свойства радона

После открытия радия, когда ученые познавали тайны радиоактивности, было установлено, что твердые вещества, находившиеся в близком соседстве с солями радия, становились радиоактивными. Однако, спустя несколько дней радиоактивность этих веществ исчезала бесследно. В 1902 году Дорн, изучавший это явление, пришел к выводу, что радий непрерывно испускает радиоактивное вещество, невесомые количества которого оседают на близлежащих предметах. Это вещество оказалось радиоактивным газом, который Резерфордом был назван эманацией радия. Слово "*эманация*" было заимствовано из латинского языка и означает "истечение".

Радиоактивные газы (эманации) - радон $_{86}Rn^{222}$ ($T_{1/2}$ =3,82 сут), торон $_{86}Rn^{220}$ (Tn, $T_{1/2}$ =55,6 с) и актинон $_{86}Rn^{219}$ (An, $T_{1/2}$ =3,96 с) входят в радиоактивные цепочки последовательно превращающихся *естественных* радионуклидов уранового $_{92}U^{238}$ ($T_{1/2}$ =4,47·10^9 лет), ториевого $_{90}Th^{232}$ ($T_{1/2}$ = 14·10^9 лет) и актиноуранового $_{92}U^{235}$ ($T_{1/2}$ =7,04·10^8 лет) рядов.

Радон – самый тяжелый из благородных газов. Он в 110 раз тяжелее водорода, в 55 раз тяжелее гелия. Не имеет ни запаха, ни вкуса, прозрачен и бесцветен.

Плотность радона при 0 °С равна 9,81 кг/м^3, т.е. почти в 7,5 раз больше плотности воздуха. Однако пока эти сведения не проверены, так как чтобы получить один литр радона из солей радия, нужно около 500 кг радия. Если бы такой объем газа и был получен каким-либо образом, то, по словам Резерфорда, ученого, открывшего радон, "никакой сосуд не мог бы удержать его, так как количество тепла, испускаемое радоном, расплавило бы сосуд, в который его заключили".

Радон химически инертен и реагирует только с сильными фторирующими реагентами.

Радон образуется при распаде $_{88}Ra^{226}$ ($T_{1/2}$ = 1620 лет), входящего в радиоактивное семейство $_{92}U^{238}$. Он является α-излучателем.

В результате радиоактивного распада $_{88}Ra^{226}$ образующийся радон попадает в кристаллическую решетку минералов. Процесс выделения радона из минералов и горных пород в поровое или трещинное простран-

ство получил название *эманирования*. Не все атомы радона могут выделиться в поровое пространство, поэтому для характеристики степени высвобождения радона из горных пород используется *коэффициент эманирования*:

$$\eta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{о}}}100\% = \frac{C_{\text{п}}V_{\text{п}}}{CV}100\% = \frac{C_{\text{п}}}{C}k_{\text{п}} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где $Q_{\text{п}}$ - количество эманации, выделяемой в поровое пространство за некоторое время; $Q_{\text{о}}$ - полное количество эманации (включая «замурованную» часть в минеральных зернах), образующейся за тот же промежуток времени; $C = Q_{\text{о}}/V$ - общая концентрация эманации, находящейся в объеме V; $V_{\text{п}}$ - объем пор; $k_{\text{п}} = V_{\text{п}}/V$ - коэффициент пористости породы.

Величина коэффициента эманирования зависит от характера породы, ее структуры и степени ее раздробленности. Чем меньше зерна породы, тем больше внешняя поверхность зерен, тем активнее идет процесс эманирования. Коэффициент эманирования может меняться от первых процентов (скальные породы) до 30-40 % (песчаники, угли) и даже 60 % (торфяники).

Попадая в поры горной породы эманации и в дальнейшем распространяются путем диффузии или конвективного переноса (по трещинам, разломам), образуя *газовый ореол рассеяния*. Растворенные в воде радиоактивные элементы и эманации могут мигрировать с подземными водами на значительные расстояния (до десятков километров), образуя *водный ореол рассеяния*.

Проводниками радона под землей являются региональные разломы, заложенные в допалеозойское время, и разломы, активизированные в мезо-кайонозойское время, с помощью которых радон появляется на поверхности земли и частично концентрируется в рыхлых отложениях.

Если в породе известна массовая доля P_U (%) урана, то концентрация Rn в объеме порового пространства вычисляется по формуле:

$$C_{\text{Ra}}^{\text{пор}} = 3{,}4 \cdot 10^4 \frac{\eta}{k_{\text{п}}} \rho K_{\text{рр}} P_{\text{U}}, \qquad (2)$$

где ρ - плотность горной породы (г/см^3); $K_{\text{рр}}$ - коэффициент радиоактивного равновесия между радием и ураном.

$$K_{\text{рр}} = \frac{P_{\text{Ra}}}{P_{\text{U}}} \frac{1}{3{,}4 \cdot 10^{-7}}, \qquad (3)$$

где P_{Ra} и P_U - содержания радия и урана соответственно.

Концентрация эманаций измеряется в долях удельной активности (Бк/л, Бк/м^3 или Ки/л, Ки/м^3) - количества ядерных превращений в секунду, происходящих в единице объема вещества.

$$1 \text{ Ки} = 3{,}7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}, \; 1 \text{ эман} = 10^{-10} \text{ Ки/л} = 3{,}7 \text{ Бк/л}$$

При оценке концентрации Tn используется следующая формула:

$$C_{\text{Tn}}^{\text{пор}} = 2{,}6 \cdot 10^4 \, \frac{\eta}{k_{\text{п}}} \, \rho P_{\text{Th}} \, . \qquad (4)$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что распределение Rn между жидкой и газообразной фазами подчиняется *закону Генри*:

$$C_{\text{ж}} = \alpha(T) C_{\text{г}} \, , \qquad (5)$$

где $C_{\text{ж}}$ - концентрация Rn в жидкости; $C_{\text{г}}$ - концентрация Rn в газе;

$\alpha(T)$ - коэффициент растворимости (коэффициент Генри).

Установлена следующая эмпирическая зависимость растворимости радона в воде в зависимости от температуры:

$$\alpha(T) = 0{,}105 + 0{,}405 e^{-0{,}0502 \cdot T} \, . \qquad (6)$$

Из формулы видно, что коэффициент α уменьшается с ростом температуры. При температурах 10, 20, 30, 40 °C он равен соответственно 0,35; 0,25; 0,20 и 0,16. При кипячении воды радон полностью удаляется.

В природе радона очень мало - его можно отнести к числу наименее распространенных на нашей планете химических элементов. Концентрация Rn в атмосфере оценивается цифрой $7 \cdot 10^{-17}$ % по весу. В земной коре его тоже очень мало, поскольку радон образуется из сверхредкого элемента - радия. Тем не менее, даже ничтожное присутствие радона можно обнаружить с помощью специальных приборов - эманометров.

1.2 Радон в воздухе зданий

Основным источником поступления радона в воздух помещений является геологическое пространство под зданием. Содержание радона в воздухе помещений зависит от его содержания в почве и подстилающих породах, их эманирующей способности, климатических условий, конструкции зданий и системы их вентиляции, кратностью воздухообмена в помещении. Концентрации и потоки радона крайне неравномерны, они изменяются в очень широких пределах для различных регионов и видов зданий.

Свой вклад в поток радона, поступающий в помещение, создает и его выход из строительных конструкций - радон может генерироваться строительными материалами при достаточно большом содержании в них урана и тория. Генерируется он вследствие того, что при строительстве здания мог быть использован кирпич, изготовленный из глины, характеризующейся повышенной радиоактивностью.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы объемная активность радона и торона и их дочерних продуктов распада в воздухе помещений не превышала **100** Бк/м^3.

В эксплуатируемых зданиях концентрация Rn^{222} и Rn^{220} и их дочерних продуктов распада в воздухе не должна превышать **200** Бк/м^3. При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений.

Изотоп Rn^{222} (продукт распада $_{92}U^{238}$) дает примерно 50–55 % дозы облучения, которое ежегодно получает каждый житель Земли. Изотоп Rn^{220} (продукт распада $_{90}Th^{232}$) прибавляет к этому еще примерно 5–10 %. Однако исследования показали, что в отдельных местностях радоновое облучение во много раз и даже на несколько порядков может превышать средние величины.

1.3 Радон в питьевой воде

Каким образом радон попадает в питьевую воду? Он попадает в воду из окружающих пород (гранитов, базальтов и др.), с которыми соприкасаются водоносные слои. Поэтому концентрация радона в водах зависит от концентрации материнских элементов в горных породах, омываемых ею, коэффициента эманирования, пористости или трещиноватости горных пород и скорости движения воды (расхода потока). Рыхлые или трещиноватые породы характеризуются повышенными концентрациями радона (зоны тектонических нарушений, кора выветривания и т.д.).

Подземные воды трещинных массивов кислых кристаллических пород обычно отличаются наиболее высокой концентрацией радона, достигающей 500 Бк/л и выше. Значительно ниже концентрация радона в водах основных изверженных пород. Трещинные воды известняков, песчаников,

сланцев обычно имеют концентрацию радона в пределах 10-100 Бк/л. Однако, в отдельных случаях, и в этих породах могут встречаться повышенные концентрации радона. Подземные воды в горизонтах грунтовых вод, залегающих недалеко от поверхности, обычно имеют более низкую концентрацию радона, составляющую менее 50 Бк/л. В поверхностных водах концентрация радона, как правило, не превышает 2-5 Бк/л, главным образом, из-за того, что радон успевает распасться в течение существования воды в поверхностных условиях или уйти в атмосферу за счет аэрации.

В зависимости от геологических и гидрогеологических условий в различных районах земли создаются условия для формирования широкого спектра фоновых концентрации радона. Наряду с районами с пониженными фоновыми концентрациями радона в водах имеются территории с весьма высокими, “ураганными” содержаниями радона. Такие территории обнаружены в Бразилии, Индии, Канаде. В Иране известны родники с высокими концентрациями радона. Повышенными фоновыми концентрациями радона характеризуются скандинавские страны. Многочисленные зоны с высокой концентрацией радона в водах выявлены в США. В России выявлены зоны с концентрацией радона в воде в 300-400 Бк/л. Из-за разнообразия условий радононакопления в водах в разных странах приняты различные величины предельно допустимых концентраций радона, которые ограничивают использование вод с высоким содержанием радона. Так, в Финляндии предельно допустимые концентрации установлены на уровне 300 Бк/л, в Швеции - 300 Бк/л, в Ирландии - 200 Бк/л.

В России нормы радиационной безопасности устанавливают предельно допустимое содержание радона в воде в **60 Бк/л** при отсутствии в воде других радиоактивных веществ. До этого «Санитарные правила и нормы для централизованного водоснабжения» разрешали пользоваться водой с содержанием радона до 120 Бк/л.

1.4 Способы определения радона

Радон можно определить с помощью эманационных методов.

Под эманационным методом геофизической разведки понимают исследования распределения концентрации радиоактивных газов в горных породах, рудах, почве, атмосферном воздухе, воде в целях поисков и разведки месторождений радиоактивных руд, а также для решения некото-

рых геологических (картирование разломов, зон трещиноватости), инженерно-геологических (выявление пород с повышенной пористостью, отслеживание водных горизонтов) и экологических задач. Сравнительно недавно установлено аномальное поведение радона в подземных водах вблизи эпицентра землетрясения. Это открытие позволило создать метод прогноза землетрясений, который уже оправдал себя на практике.

В зависимости от природы эманаций различают радоновый, тороновый и актиноновый методы. Наибольшее распространение в полевых условиях получил радоновый метод эманационной съемки. Путем измерения концентраций Rn и Tn в почвенном воздухе и воде можно определять природу активного начала (тип радиоактивной аномалии) горных пород.

Эманационный метод представляет собой один из основных радиометрических методов геофизической разведки, что обуславливается его большой по сравнению с другими радиометрическими методами глубинностью, так и его высокой чувствительностью.

Суть эманационных методов анализа заключается в следующем. Радиоактивные газы тем или иным способом извлекают из твердых или жидких веществ и переводят в ионизационную или сцинтилляционную камеру, чувствительную к α-частицам (радиоактивные эманации Rn, Tn, *An* - это α-излучатели), которая предварительно градуируется с помощью жидкого радиевого стандартного образца (эталона). По ионизационному току или количеству импульсов определяют концентрацию эманации в камере и затем в исходной пробе почвенного воздуха или воды. Данные об активности Rn, Tn, An используют для определения содержания долгоживущих материнских веществ - U (по Ra), Th и Ac.

Существует два наиболее распространенных способа анализа концентрации эманаций в водных пробах - *вакуумный* и *циркуляционный*.

При вакуумном способе (рис. 1, *а*) из сцинтилляционной камеры 1 объемом $V_к$ и из осушителя 2 объемом $V_{ос}$ через соединительные трубки 3 с зажимами $З_{1\text{-}2}$ откачивают воздух. Затем кран $К_1$ и зажимы в определенном порядке открывают, после чего атмосферный воздух, проходя через сосуд 4, обогащается растворенным в воде 5 радиоактивным газом, начинает поступать в эманационную камеру со скоростью около 100 пузырьков в минуту. Специальный сосуд (барботер) плотно закрыт резиновой пробкой 6 с винтовым зажимом, предотвращающей утечку эманации.

В замкнутой циркуляционной системе (рис. 1, *б*) эманация из сосуда с водой 4 (общий объем $V_с$, объем воды - $V_{вод}$) с помощью груши 7 объемом $V_г$ через соединительные трубки 3 объемом $V_т$ в течении некоторого времени прокачки $t_{пр}$ равномерно распределяется по всему *газовому* объему циркуляционной системы $V_{сист}$:

$$V_{сист} = V_к + V_{ос} + V_г + V_т + V_с - V_{вод} + \alpha V_{вод}, \quad (7)$$

или

$$V_{сист} = V_{возд} + \alpha V_{вод}, \quad (8)$$

где $V_{возд}$ - объем воздуха в системе; $\alpha V_{вод}$ - объем эманации, растворенной в воде; α - коэффициент Генри.

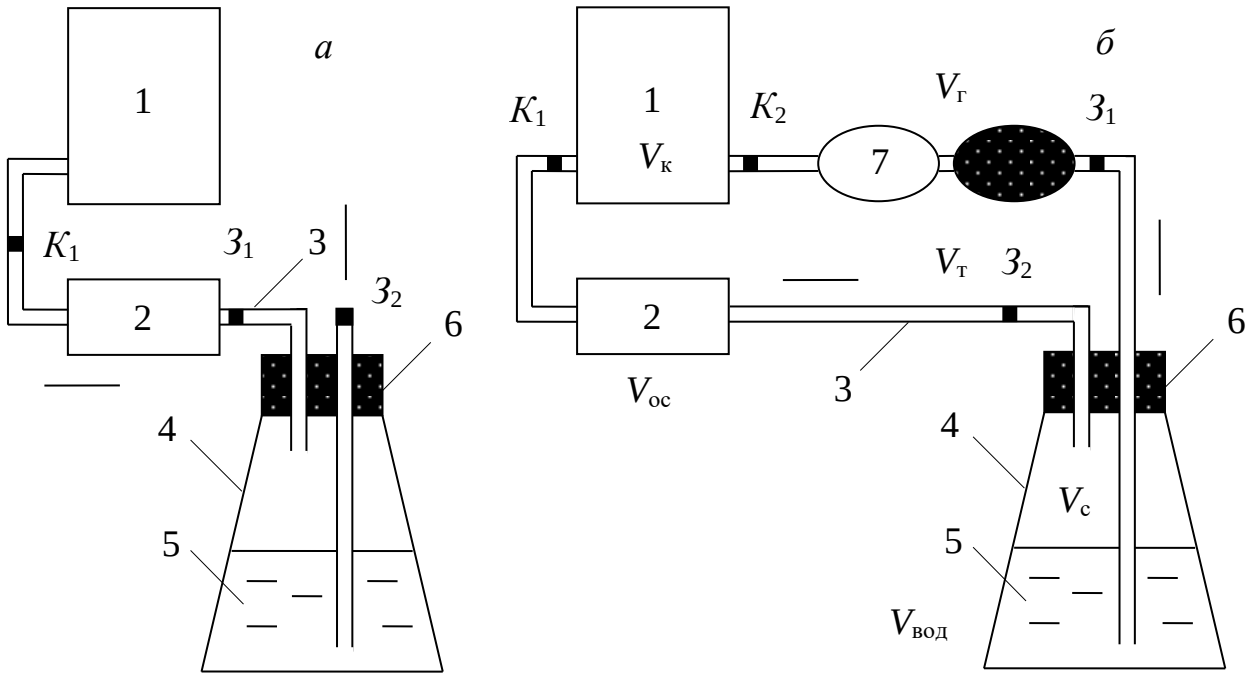


Рис. 1. Вакуумный (*а*) и циркуляционный (*б*) способы анализа. Стрелками показано направление движения воздуха

Имеет смысл сделать некоторые пояснения относительно объема эманации, растворенной в жидкости. Формулу (5) можно переписать так:

$$\frac{Q_ж}{\alpha V_ж} = \frac{Q_{газ}}{V_{газ}}, \quad (9)$$

где $Q_ж$, $Q_{газ}$ - количество эманации (Бк) в объемах $V_ж$ и $V_{газ}$.

Если бы мы перевели всю эманацию из жидкости в газ (что эквивалентно $Q_ж = Q_{газ}$), то объем $V_{газ}$, который она занимает в этом случае, со-

гласно (9) должен составить $\alpha V_{вод}$, что и отражено в соотношении (8).

После введения Rn в камеру и перекрытия зажимов начинает происходить накопление его дочерних продуктов распада (тоже α-излучателей), что приводит к увеличению интенсивности α-излучения I во времени (рис.2). Нарастание I зависит от продолжительности введения $t_{пр}$ эманации в камеру, от формы и размера камеры, типа детектора, поэтому наряду со значением I фиксируют интервал времени $t_{пауз}$ от момента прекращения прокачки системы до начала измерения скорости следования импульсов.

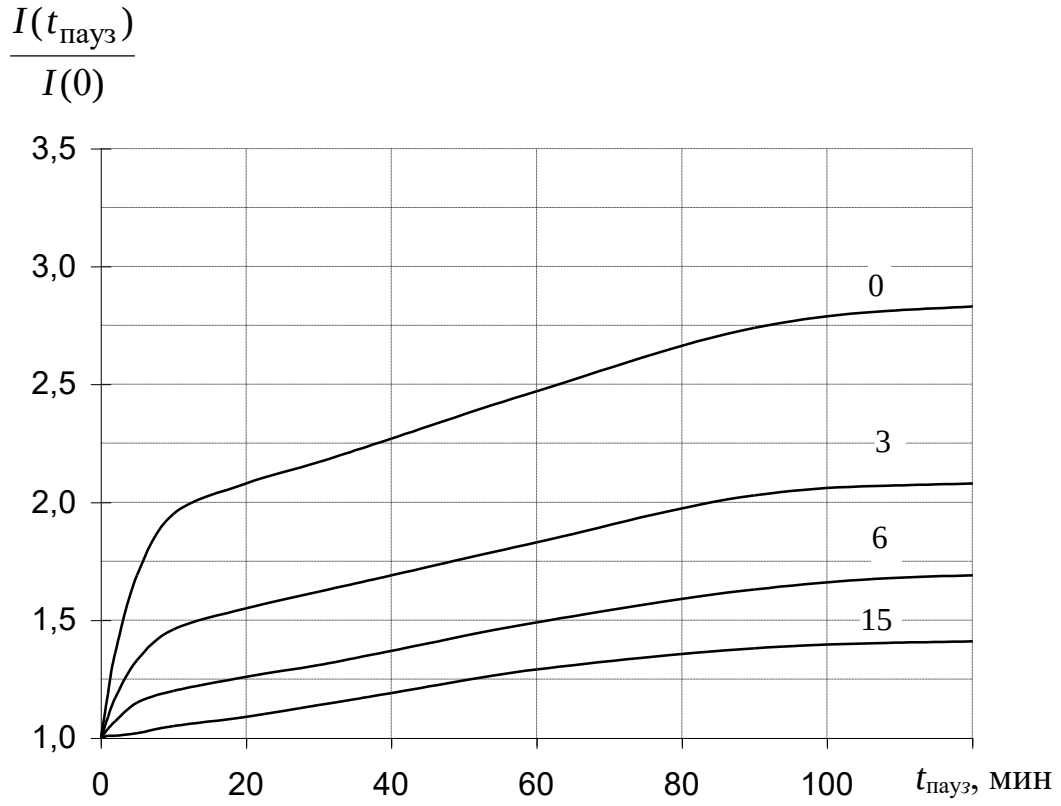


Рис. 2. Коэффициенты нарастания скорости счета импульсов в сцинтилляционной камере в зависимости от интервала $t_{пауз}$ и продолжительности прокачки системы $t_{пр}$ в минутах (шифр кривых)

Значение $t_{пр}$ выбирают одинаковым в процессе анализа проб и при градуировании аппаратуры. Для гидрохимических проб $t_{пр}$ = 3-6 мин. Значение $t_{пауз}$ в анализах повышенной точности достигает нескольких часов, при изучении лито- и гидрохимических проб - от 3-10 мин до 3 ч.

Для анализа на Rn отбирают 0,2-0,5 л воды (в зависимости от объема барботера) и помещают ее в сосуд, включенный в циркуляционную систему. Желательно произвести эту операцию не позже 4-5 суток после мо-

мента отбора пробы, т.к. если вода не содержит солей Ra, то за этот интервал времени проба может потерять значительную долю активности.

Концентрация Rn в камере после прокачки системы, составляет

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{возд}} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t}, \tag{10}$$

где I - скорость счета импульсов в превышении над фоном (имп/мин); ε - градуировочный коэффициент [эман/(имп/мин)]; t - время между отбором пробы и началом ее анализа; λ - постоянная распада Rn:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0{,}693}{3{,}82 \cdot 24 \cdot 3600} = 2{,}1 \cdot 10^{-6}\ \text{с}^{-1}. \tag{11}$$

Экспоненциальный множитель в формуле (10) выступает как поправка за распад эманации до начала проведения анализа. Если время t не превышает первых часов, то поправку можно не учитывать.

Количество Rn, циркулирующего в системе составляет

$$Q_{\mathrm{Rn}}^{\text{возд}} = C_{\mathrm{Rn}}^{\text{возд}} V_{\text{сист}} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t} V_{\text{сист}}. \tag{12}$$

Поскольку из водной пробы был извлечен весь радон, то величина

$$C_{Rn}^{вод} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t} \frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t} \frac{\left(V_{\text{возд}} + \alpha V_{\text{вод}}\right)}{V_{вод}} \tag{13}$$

представляет собой искомую концентрацию Rn в исследуемой пробе.

В случае, когда $V_{\text{возд}} >> \alpha V_{\text{вод}}$ и можно пренебречь распадом Rn, формула (13) упрощается:

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{вод}} = \varepsilon I \frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}} \approx \varepsilon I \frac{V_{\text{возд}}}{V_{\text{вод}}}. \tag{14}$$

В полевых условиях содержание Rn в высокорадиоактивных водах определяют γ-методом. Для этого водой заполняют стандартный сосуд объемом 8-12 л и в нем измеряют интенсивность γ-излучения. Расчет концентрации эманации ведут по формуле:

$$C_{\mathrm{Rn},\gamma}^{\text{вод}} = \varepsilon_\gamma I_\gamma, \tag{15}$$

где I_γ - интенсивность γ-излучения в превышении над естественным фоном (пА/кг или мкР/ч); ε_γ - градуировочный коэффициент, который при работе с радиометрами серии СРП-68 составляет около 300 Бк/л на 1 пА/кг (5,8 эман

на 1 мкР/ч).

Эманационная съемка в полевых условиях заключается том, что в определенной точке съемочного профиля производится отбор проб почвенного воздуха с некоторой глубины. Почвенный воздух по соединительной системе с помощью ручного насоса закачивается в эманационную камеру. После введения пробы воздуха в камеру, с помощью фотоэлектронного умножителя и счетного устройства импульсов определяется количество сцинтилляций, которое пропорционально концентрации Rn в камере. Сцинтилляционный метод применим для анализа проб воздуха, содержащих радон в концентрациях от нескольких десятых долей эмана и выше.

На рис. 3 приведена принципиальная схема эманационных измерений на одной из точек съемочного профиля в полевых условия.

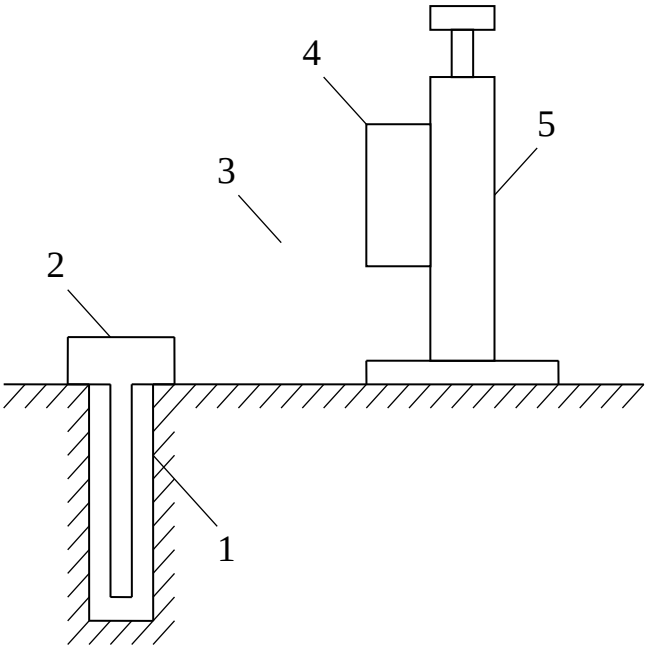


Рис. 3. Схема эманационных измерений в полевых условиях. Обозначения: 1 − шпур; 2 − пробоотборник воздуха; 3 − соединительный шланг; 4 − эманационная камера и измерительное устройство; 5 − держатель и ручной насос

2. ПОЛЕВОЙ ЭМАНОМЕТР «РАДОН»

Полевой сцинтилляционный эманометр «Радон» предназначен для определения концентрации Rn в почвенном воздухе при полевой эманационной съемке и определения Rn в пробах воды. «Радон» может применяться и при дозиметрических измерениях. Эманометр в разных модифи-

кациях выпускался с конца 60-х до середины 80-х годов, когда ему на смену пришел более современный прибор РГА-01 «Глициния».

2.1 Основные технические данные и характеристики прибора

- Диапазон измерения скорости счета импульсов - от 0 до 5000 имп/с с поддиапазонами 50, 250, 1000 и 5000 имп/с.

- Чувствительность прибора после трехчасового накопления продуктов распада Rn при объеме камеры 0,5 л не менее 0,36 эман/(имп/с) при фоне в чистой камере не более 5 имп/мин.

- Прибор устойчиво работает в диапазоне температур 0-40 °С при относительная влажности до 80 %. Дополнительная погрешность прибора, вызванная изменением температуры, не более 10 %.

- Питание прибора осуществляется от шести элементов А-373.

- Дополнительная погрешность, вызванная изменением напряжения питания в пределах 8,1 до 9,9 при номинале 9,0 - не более 15 %.

- Основная погрешность измерений эманометра - не более 30 %.

2.2 Устройство и принцип работы прибора

Эманометр «Радон» состоит из следующих основных блоков: сцинтилляционной камеры, фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), блока питания и стабилизатора напряжения, усилителя импульсов, порогового дискриминатора, интенсиметра α-излучения, электромеханического счетчика (ЭМС) импульсов с секундомером. В комплект эманометра входит также ручной насос для закачки почвенного воздуха, осушитель и соединительные трубки.

Сцинтилляционная камера представляет собой металлический стакан покрытый внутри слоем *ZnS*(*Ag*) - веществом, фоточувствительным к ионизирующему воздействию α-частиц. При попадании α-частицы на слой сцинтиллятора возникает световой квант (вспышка света), который, попадая в *фотоэлектронный умножитель*, в результате фотоэффекта на катоде выбивает из него электрон. Под действием ускоряющего электрического поля напряжением ≈ 600 В фотоэлектрон в дальнейших столкновениях с *динодами* ФЭУ производит лавинообразное умножение заряда, снимаемого с анода в виде короткого (1-5 мкс) импульса напряжения. С выхода ФЭУ импульсы попадают на *усилитель* и далее - на *пороговый дискриминатор*, осуществля-

ющий их отбор по амплитуде. С выхода дискриминатора импульсы поступают на *ЭМС* и *аналоговый интенсиметр* со стрелочным индикатором, принцип работы которого близок для большинства радиометров.

На панели основного блока эманометра расположены: держатель ФЭУ со съемной сцинтилляционной камерой и металлическими кранами, стрелочный индикатор измерительного прибора (ИП), регулятор порога дискриминации, кнопка СБРОС, переключатель диапазонов измерений (50, 250, 1000, 5000 имп/с), переключатель РОД РАБОТ и разъем для подключения блока ЭМС. На отдельном блоке ЭМС расположены: секундомер (слева), стрелочный индикатор числа зарегистрированных импульсов, тумблер СТОП/ПУСК и переключатель масштабов ×1 / ×2.

Переключатель рода работ может находиться в следующих положениях: ВЫКЛ - прибор выключен, НБ - проверка напряжения питания батарей, НВ - проверка высокого напряжения питания ФЭУ. ИМП/СЕК - режим измерения скорости счета импульсов с помощью стрелочного индикатора, ЭМС - режим измерения скорости счета импульсов с помощью электромеханического счетчика. При относительно высоких скоростях следования импульсов (более 20 имп/с) используется режим измерения со стрелочным индикатором, при низких скоростях - режим ЭМС.

ВНИМАНИЕ! Категорически запрещается использовать режим ЭМС при скорости счета 30 имп/с и более - это может привести к выходу счетчика из строя!

2.3 Подготовка прибора и измерительной установки к работе

Подготовка прибора начинается с зарядки батарей в отсек питания и проверки напряжения питания с помощью переключателя рода работ (положение НБ). При правильной работе блока питания стрелка измерительного прибора должна находиться во второй половине шкалы.

ВНИМАНИЕ! Включение прибора в режим измерений возможно только с установленной эманационной или контрольной камерой! В противном случае может произойти засветка ФЭУ и выход его из строя.

Далее производится проверка высокого напряжения ФЭУ: при переключателе рода работ НВ стрелка ИП должна отклоняться не менее чем на

16 делений шкалы. Если этого не происходит, то необходимо подождать 3-5 минут пока не установится рабочий режим (≈18-20 делений).

С помощью контрольной камеры проверяется чувствительность прибора и правильность установки порога дискриминации. С этой целью на поддиапазоне не ниже 250 снимается зависимость скорости счета импульсов от положения порога дискриминации. В некотором диапазоне шкалы регулятора порога должно наблюдаться «плато» - незначительное изменение скорости счета. Регулятор порога устанавливается примерно в середину этого «плато». Если «плато» не наблюдается, то положение порога фиксируется исходя из паспортных значений чувствительности эманометра, измеренных с помощью контрольной камеры на разных диафрагмах.

Непосредственно перед началом измерений концентрации Rn необходимо проверить работоспособность эманационных камер и оценить их собственный фон. Камера считается пригодной к работе если фон не превышает 30-40 имп/мин. Дочерние продукты распада Rn, оседая на стенках сцинтилляционной камеры, могут вызвать ее радиационное загрязнение. Поэтому после измерений высокоактивных проб рекомендуется заменить камеру и не использовать ее до тех пор, пока фон не снизится до нормального уровня (за счет проветривания и распада радионуклидов).

Подготовка установки для измерения концентраций Rn в воде заключается в сборе циркуляционной системы (рис. 4.1, *б*). Перед подключением соединительных трубок к эманационной камере краны $K_{1\text{-}2}$ должны быть обязательно закрыты во избежание попадания эманации в детектор до начала измерений. Следует также проверять герметичность системы в целом и отсутствие в ней утечек воздуха. Следует обратить внимание на направление подключения груши, в противном случае при прокачке вместо воздуха в камеру может попасть вода и вывести прибор из строя.

2.4 Градуирование прибора

Градуирование эманометра заключается в нахождении значения коэффициента ε. С этой целью 1-2 раза в месяц проводят измерения скорости счета импульсов на стандартных образцах (СО). В качестве СО используют помещенный в барботер раствор соли Ra массой m_{Ra} (г). Для удаления Rn сосуд с радиевым раствором продувают воздухом, плотно закрывают, момент герметизации фиксируют на этикетке СО. Время накоп-

ления Rn берут $t > 3$ суток.

Собирают циркуляционную систему (рис. 1, *б*), следя за тем, чтобы зажимы $З_{1\text{-}2}$ и краны $К_{1\text{-}2}$ были закрыты. Далее измеряют фон камеры $I_ф$ (имп/мин) за время $t_{изм} = 3$ мин. После этого открывают зажимы $З_{1\text{-}2}$, краны $К_{1\text{-}2}$ и начинают прокачку воздуха в течении $t_{пр} = 3$ мин. Прокачку системы ведут в темпе, при котором в воде наблюдаются отдельные пузырьки воздуха, следующие друг за другом со скоростью около 300 в мин.

Затем камеру закрывают и в течении нескольких часов через каждые 3 мин фиксируют показания прибора, настроенного на заданную чувствительность (порогом дискриминации), и строят кривую нарастания I (за вычетом фона) во времени.

Градуировочный коэффициент ε в эман/(имп/мин) для момента времени $t_{пауз} = 3$ мин (значительная часть Tn уже распадется) после прокачки воздуха вычисляют по следующей формуле:

$$\varepsilon = \left(1 - e^{-\lambda t}\right) \frac{C_{Rn}^{возд}}{I(t_{пауз})}, \text{ или} \qquad (16)$$

$$\varepsilon = \left(1 - e^{-\lambda t}\right) \frac{m_{Ra} \cdot 10^{10}}{\left(V_{возд} + \alpha V_{вод}\right) I(t_{пауз})}, \qquad (17)$$

где $I(t_{пауз})$ - показания прибора, определяемые на графике для интервала времени $t_{пауз}$, принятого в процессе анализа проб.

Пример. Имеем эталон Ra массой $m_{Ra} = 8{,}55 \cdot 10^{-9}$ г и следующие режимы анализа: $t_{пр} = 3$ мин, $t_{изм} = 3$ мин, $t_{пауз} = 3$ мин. Параметры системы: $V_к = 0{,}5$, $V_{ос} = 0$, $V_г = 0{,}3$, $V_с = 0{,}5$, $V_т = 0{,}05$, $V_{вод} = 0{,}4$ (все в л), фон камеры $I_ф = 37$ имп/мин, температура $T_{возд} = 20$ °С. Эталон прокачен 72 ч назад, т.е. $t = 3$ сут.

Измеренная скорость счета импульсов на эталоне составила 1167 имп/с. После вычета фона $I(t_{пауз}) = 1167\text{-}37 = 1130$ имп/мин.

$V_{возд} = V_к + V_{ос} + V_г + V_т + V_с - V_{вод} = 0{,}95$ л.

$V_{сист} = V_{возд} + \alpha V_{вод} = 0{,}95 + 0{,}2 \cdot 0{,}4 \approx 1$ л.

$1\text{-}\exp(-\lambda t) = 1\text{-}\exp(-0{,}693 \cdot 3/3{,}82) = 0{,}42$.

$\varepsilon = 8{,}55 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{10} \cdot 0{,}42/(1 \cdot 1130) = 0{,}032$ эман/(имп/мин).

При проведении градуировании аппаратуры особо тщательно следует следить за тем, чтобы раствор радия не попал внутрь эманационной ка-

меры. Последствия радиационного заражения эманометра крайне неприятны: необходимо полностью разобрать прибор, тщательно промыть каждую деталь. Зараженная камера не пригодна к дальнейшим измерениям.

3. ПРОГРАММА ИЗМЕРЕНИЙ

Задание:

1. Ознакомиться с элементами теории эманационных методов (раздел 1).

2. Ознакомиться с эманометром «Радон», его назначением и основными техническими характеристиками. Подготовить прибор и измерительную установку к работе (раздел 2).

4. Произвести градуировку эманометра в соответствии с описанием, приведенном в разделе 2.4 (выполняется строго под руководством преподавателя).

5. Отобрать пробы воды из разных источников и выполнить измерения концентраций *Rn* в соответствии с программой измерений (раздел 3).

6. Сделать выводы о соответствии нормам радиационной безопасности исследованных водных источников и возможной природе выявленных аномалий.

7. Ответить на контрольные вопросы (раздел 4).

***Материалы, оборудование*:**

1. Эманометр «Радон» с контрольной камерой, комплект из 6 батарей питания к нему (А-373, «Орион»).

2. Набор сцинтилляционных эманационных камер объемом 0,5 л.

3. Эталонный водный раствор соли радия ($10^{-7} \div 10^{-9}$ г Ra).

4. Специальные сосуды для отбора водных проб (барботеры).

5. Соединительные резиновые трубки, груша для прокачки воздуха, стеклянные трубки, осушительная камера.

6. Калькулятор, журнал измерений, карандаш, резинка.

Отбор водных проб выполняется в следующем порядке:

1. Сосуды для отбора проб (барботеры) моются, желательно в речной или озерной воде, после чего сушатся. На барботеры наклеиваются этикетки из лейкопластыря для записи даты, времени и места отбора проб.

2. Отбор проб производится из водоемов, колодцев, родников, водопроводных кранов, скважин и других источников в объеме 0,3-0,35 л (сосуды емкостью 0,5 л) и 0,5-0,6 л (емкость 1 л). Из водоемов и колодцев отбираются пробы V = 0,5-0,6 л, из скважин и родников - V = 0,3-0,35 л.

3. Если вода набирается из крана, то струя воды должна бежать свободно, БЕЗ НАПОРА и пузырьков воздуха. Воду следует наливать аккуратно, так, чтобы она бежала по стенке сосуда и не плескалась на дне. Эти предосторожности гарантируют сохранность растворенного в воде *Rn*.

4. Сразу же после заполнения барботера водой (примерно до середины) его следует герметично закрыть, для чего зажимаются или перевязываются резиновые соединительные трубки. Пробка барботера плотно зажимается винтовым механизмом, причем следует контролировать силу зажима - стеклянные трубки внутри сосуда не должны расколоться.

5. На этикетке сосуда записывается время t_o и место отбора пробы.

Подготовка прибора и измерительной установки к работе выполняется в соответствии с разделом 4.2.3, градуирование - по указанию преподавателя.

Выполнение измерений концентрации Rn производят так:

1. Собирают циркуляционную систему (рис. 1, *б*), следя за тем, чтобы зажимы $З_{1\text{-}2}$ и краны $К_{1\text{-}2}$ были закрыты.

2. Измерят фон камеры $I_ф$ (имп/мин) за время $t_{изм}$ = 3 мин. С этой целью переключатель рода работ устанавливают в положение ЭМС. В исходное состояние сбрасываются секундомер и ЭМС. Пересчетный коэффициент ЭМС устанавливают в положение ×2 (регистрируется каждый второй импульс). Для начала измерений необходимо одновременно запустить секундомер и включить переключатель ПУСК счетчика импульсов. Далее следят за секундомером, так как счетчик автоматически не останавливается после истечения времени $t_{изм}$. По истечении заданной экспозиции переключатель переводят в положение СТОП.

3. Открывают зажимы $З_{1\text{-}2}$, краны $К_{1\text{-}2}$ и начинают прокачку воздуха в течении $t_{пр}$ = 3 мин. Прокачку системы ведут в темпе, при котором в воде наблюдаются отдельные пузырьки воздуха, следующие друг за другом со скоростью около 300 в мин.

4. После прокачки воздуха краны $К_{1\text{-}2}$ закрывают и выжидают некоторое время $t_{пауз}$ = 3 мин, чтобы активность радона в камере немного увеличилась, а торона - значительно уменьшилась.

5. Записывают в журнал время начала анализа t_1. Проводят измерения скорости счета импульсов I (имп/мин) в течении времени $t_{изм}$ = 3 мин аналогично п.2.

6. Вычисляют концентрацию *Rn* в водной пробе по формуле:

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{вод}} = \varepsilon k\left(I - I_{\text{ф}}\right)\frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}}\exp\left[-\frac{\ln 2}{3{,}82}\left(t_1 - t_0\right)\right], \qquad (18)$$

где k - пересчетный коэффициент счетчика, для нашего случая $k = 2$.

В формуле (18) время отбора t_0 и начала анализа t_1 - в сутках. Если $t_1 - t_0 < 0{,}2$ сут, то вместо (18) используется более простая формула:

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{вод}} = \varepsilon k\left(I - I_{\text{ф}}\right)\frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}}. \qquad (19)$$

При вычислениях принять:

$V_{\text{сист}} = V_{\text{возд}} + \alpha V_{\text{вод}}$, $\alpha = 0.2$;

$V_{\text{возд}} = V_{\text{к}} + V_{\text{ос}} + V_{\text{г}} + V_{\text{т}} + V_{\text{с}} - V_{\text{вод}}$.

$V_{\text{к}} = 0{,}5$ л, $V_{\text{ос}} = 0{,}2$ л, $V_{\text{г}} = 0{,}3$ л, $V_{\text{т}} = 0{,}05$ л, $V_{\text{с}} = 0{,}5$ или 1,0 л.

Объем воды $V_{\text{вод}}$ в барботере определяют по оцифрованной шкале.

В процессе измерений рекомендуется вести следующую форму лабораторного журнала:

Прибор № _____ Оператор _____

$t_{\text{пр}}$ = _____ $t_{\text{пауз}}$ = _____ $t_{\text{изм}}$ = _____

k = _____ ε = _____ эман/(имп/мин)

	Место отбора пробы воды	t_0, сут	t_1, сут	$I_{\text{ф}}$, имп	I, имп	$I - I_{\text{ф}}$, имп	$V_{\text{вод}}$, л	$V_{\text{возд}}$, л	$\frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}}$	C_{Rn}, эман
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*

Примечание. Если градуирование не проводится, то значение пересчетного коэффициента ε принимается равным 0,05 эман/(имп/с).





Рис. 4.4. Процесс измерения концентрации радона в водных пробах, отобранных в разных точках Верх-Сысертского участка

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность, цели и задачи эманационной съемки.

2. Радиоактивные газы и их краткая характеристика.

2. Глубинность эманационных методов (отдельно по Rn и Tn).

3. По какой формуле можно оценить концентрацию радона в поровом пространстве горной породы?

4. Единицы измерения концентрации эманаций и их соотношение.

5. Закон Генри. Зависимость коэффициента Генри от температуры.

5. Способы анализа концентрации эманаций в воздухе и в воде.

6. Полевой эманометр «Радон» и его краткая характеристика.

7. На каком физическом эффекте основан метод определения концентрации радиоактивных газов прибором «Радон»?

7. Устройство эманометра «Радон» и подготовка его к работе.

8. Порядок градуирования эманометра «Радон».

9. Порядок отбора и анализа содержания Rn в водных пробах.

10. Почему после ввода Rn в сцинтилляционную камеру скорость счета импульсов увеличивается с течением времени?

11. Если спустя несколько суток после отбора водной пробы ее α-активность не изменилась, то какой Вы можете сделать вывод?

12. Назовите физические предпосылки для раздельного определения концентраций радона, торона и актинона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Возженников Г.С., Белышев Ю.В.* Радиометрия и ядерная геофизика: Учебное пособие. - Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2011.

2. *Гонсалес А.Х., Андерс Ж.* Естественные и искусственные источники излучения. В кн.: Ядерная энергия в будущем. МАГАТЭ, 1989. Т. 31, № 2.

3. *Жуковский М. В.* Радон: измерение, дозы, оценка риска. - Екатеринбург: ИПЭ, 1997.

4. *Крисюк Э.М.* Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989.

5. *Нефёдов В.Д.* и др. Радиохимия. – М: Высшая школа, 1985.

6. Радиация: Дозы, эффекты, риск. Пер. с англ. - М.: Мир, 1998.

7. *Смыслов А.А., Максимовский В.А., Харламов М.Г.* и др. Радон в земной коре и риск радоноопасности // Разведка и охрана недр. 1995. № 5.

8. *Титов В.К., Лучин И.А., Лашков Б.П.* Радон в почвах и зданиях - Л.: Рудгеофизика, 1991.

9.*Уткин* В.И. Газовое дыхание Земли // Соросовский образовательный журнал. – М., 1997. – № 1.

10.*Уткин В. И.* Радоновая проблема в экологии. // Соросовский образовательный журнал. – М., 2000. - том 6, № 3.

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна
Белышев Юрий Владимирович

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть 3
Определение радона в воде

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»



В. М. Сапожников

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

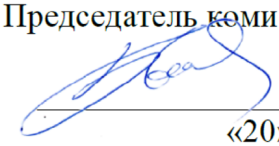
Учебное пособие
по дисциплине «Комплексирование геофизических методов»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»

Екатеринбург – 2020

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

В. М. Сапожников

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Учебное пособие
по дисциплине «Комплексирование геофизических методов»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»
очной, заочной и дистаионной форм обучения

Екатеринбург
2020

УДК 550.83
С25

Рецензент: *Виноградов А. М.*, д-р. геол.-минер. наук,
ведущий научный сотрудник Института геофизики УрО РАН;
Голиков Ю. В., д-р. геол.-минер. наук,
Уральский государственный горный университет.

Печатается по решению Редакционно – издательского совета
Уральского государственного горного университета

Сапожников В. М.

Комплексирование геофизических методов: учебное пособие / В. М. Сапожников; Уральский гос. горный ун-т.-Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 76 с.

Учебное пособие представляет несколько сокращенный конспект лекций по дисциплине №Комплексирование геофизических методов» для специальности 21.05.03 Технология геологической разведки специализации «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» (РФ). В учебное пособие вошла та часть курса, которая посвящена поискам твердых полезных ископаемых и наиболее востребована при подготовке дипломных проектов большей частью студентов специальности РФ.

В пособии рассматриваются общие положения методологии планирования и проведения комплексных геофизических исследований преимущественно в рудных провинциях. Особое внимание уделено выявлению тектонических нарушений различного масштаба, которые являются контролирующими, подводящими и распределяющими элементами рудоносных структур. Формирование и результативность комплекса при поисках рудных объектов показана на примере уранового месторождения, поскольку типовые комплексы для решения структурно-картировочных и поисковых задач на различные твердые полезные ископаемые подробно рассмотрены в специальной справочной литературе.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности РФ очного и заочного обучения. Отдельные разделы могут быть полезны студентам других геофизических и геологических специальностей, которым разведочная геофизика дается в сокращенном виде. Пособие может быть полезным аспирантам, магистрам и работникам производственных организаций, применяющих геофизические методы.

Автор выражает благодарность инженеру кафедры геофизики Г. А. Косаревой, взявшей на себя труд по оформлению рисунков и окончательной компоновки пособия.

Рис. 23 Библ. 13 наим.

© Уральский государственный
горный университет, 2020

Введение

Курс «Комплексирование геофизических методов» завершает подготовку студентов-геофизиков к профессиональной деятельности. В курсе на основе знаний по отдельным геофизическим методам с их достоинствами и ограничениями дается представление о решении типовых геологоразведочных задач путем комплексирования нескольких методов с целью получения совокупности данных существенно расширяющих возможности геофизических исследований недр.

С необходимостью применить знания по комплексированию геофизических методов студенты сталкиваются еще на стадии обучения в вузе в период дипломного проектирования и это умение оценивается государственной аттестационной комиссией по итогам защиты учебного проекта по решению картировочной или поисково-разведочной задачи. Выпускник кафедры геофизики должен показать умение сформировать и обосновать рациональный комплекс методов в конкретной геологической среде.

Представленный курс лекций в основном ориентирован на изложение методик выявления и изучения месторождений твердых полезных ископаемых. Именно эти объекты являются главными для специальности РФ. Что касается комплексирования геофизических методов при поисках месторождений нефти и газа, то по этой теме издан конспект лекций доцента вуза Г. Г. Кассина.

Методология комплексирования геофизических методов сформировалась к началу 80-х годов прошлого столетия, когда появились специальные монографии, учебники и справочники, обобщающие теоретические положения и опыт комплексирования. В числе специалистов, внесших существенный вклад в формирование и пропаганду технологии комплексирования методов разведочной геофизики, следует назвать Г. С. Вахромеева, В. В. Бродового, А. А. Никитина, В. К. Хмелевского.

Впервые курс по комплексированию геофизикам в нашем вузе начал читать профессор Н. А. Иванов. Несколько лет этот курс читал доцент, а затем профессор А. Я. Ярош. Проблеме комплексирования геофизических методов главным образом при поисках руд посвятили свои докторские диссертации Г. П. Саковцев, ставший впоследствии ректором нашего вуза, и выпускник кафедры геофизики Г. С. Вахромеев. Последним на эту тему опубликована монография. К настоя-

щему времени по курсу комплексирования издано несколько вариантов учебников и справочников. Основные из них приведены в списке использованной литературы.

В настоящем конспекте помимо классических положений, отраженных в известных источниках, автор приводит некоторые свои разработки и сведения, которые могут оказаться полезными в процессе выбора и обоснования комплекса геофизических методов.

1. ПРЕДПОСЫЛКИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

При изучении теории и практики применения отдельных геофизических методов, которым посвящены специальные учебные курсы разведочной геофизики, обучающиеся знакомятся не только с достоинствами методов, но и их ограничениями при исследовании многообразных и сложных геологических сред. Практически всегда перед геофизическими методами ставится задача по изучению одиночных или комплекса объектов в некоторой вмещающей среде. И в общем случае ограниченные возможности одного метода делают невозможным без дополнительной информации определить природу геологических тел, признаки, существования которых выявляются в процессе измерений. Даже, если наличие определенного объекта установлено, бывает сложно определить требуемые для его оценки характеристики.

Одной из основных причин необходимости применения комплекса геофизических методов является неоднозначность истолкования наблюдаемого поля, следовательно, и неопределенность конечных геологических выводов. В качестве примера обратимся к рис. 1, на котором видно, что близкие по виду положительные локальные аномалии поля силы тяжести (Δg), наблюдаются над разнообразными геологическими объектами относительно повышенной плотности (интрузии, руды). Поэтому по данным гравиметрии можно лишь установить факт увеличения плотности, каких- то горных пород на изучаемом участке, но нельзя определить геологическую причину нарушения однородности среды и объективно охарактеризовать аномалиеобразующий объект.

При решении поисковой задачи нередко возникает проблема классификации аномалий, которые по признакам похожи на те, которые характерны для искомого объекта. Часто среди выявленных аномалий встречаются такие, которые вызваны геологическими телами, не представляющими поискового интереса. Их создают неоднородности, относимые к классу геологических помех. На примере рис. 1 видно, что при поисках залежей руд с повышенной плотностью, аномалии над разрезами *а*, *б* и *г* можно связывать с проявлением геологических помех. В рассмотренном примере для снижения или даже исключения неоднозначности в истолковании зафиксированных ано-

малий существенную помощь могло оказать применение электрического зондирования.

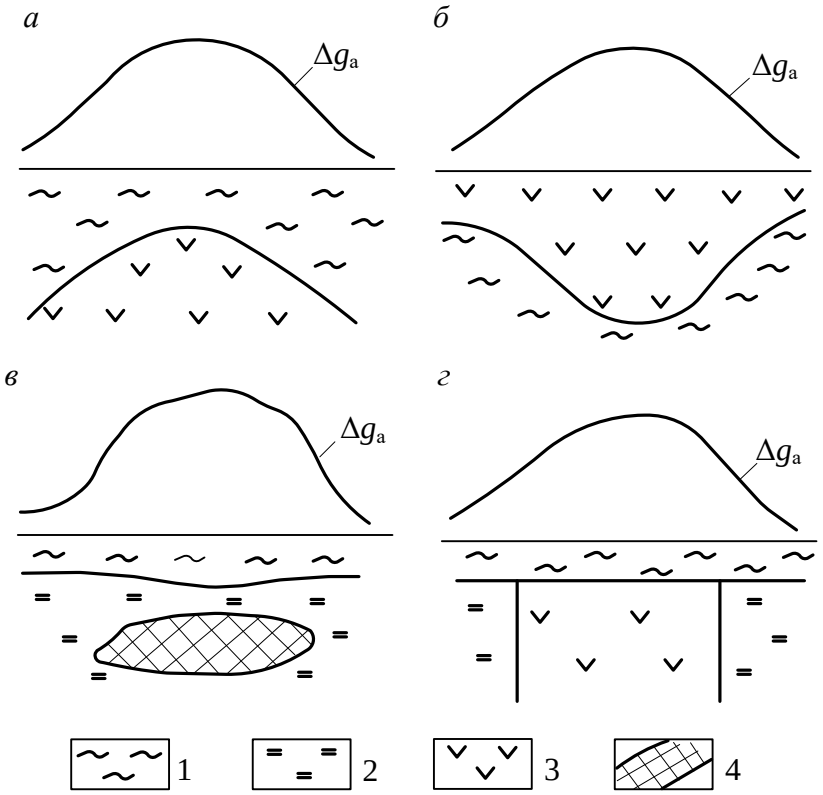


Рис. 1. Пример проявления однотипных аномалий силы тяжести над разнообразными геологическими разрезами: породы: 1 – глинистые; 2 – гидротермально измененные; 3 – магматические; 4 – руды

Перед геофизическими методами, отличающимися высокой производительностью и возможностью дистанционно изучать земные недра, ставятся задачи по определению качественных и количественных характеристик изучаемых объектов. Например, по данным промысловых геофизических исследований скважин необходимо провести литологическое расчленение разреза, выделить пласты-коллекторы, определить их фильтрационно-емкостные свойства, характер насыщения, а для продуктивных пластов – установить коэффициент нефтегазонасыщенности. Такое многообразие требуемых характеристик приводит к необходимости применять солидный комплекс геофизических методов, нередко превышающий десяток наименований.

Во многих случаях из-за влияния факторов, осложняющих условия наблюдения, приходиться применять разнотипные методы определения одной и той же физико-геологической или геометрической характеристики объекта. Например, для определения пористости коллекторов в одной скважине применяют три разнотипных геофизических метода: ГГК-П, НК и АК, которые контролируют результаты друг друга. В крайнем случае, ограничиваются какими-то двумя методами.

Природу аномалиеобразующих объектов иногда можно определить, используя несколько модификаций одного и того же метода, отличающихся глубинностью исследования. В качестве примера можно привести двухразносное электропрофилирование или двухзондовый микрокаротаж.

При проектировании и применении геофизических методов ответственным моментом является их разделение на основные и вспомогательные – детализационные методы. Первыми изучается все намеченное геологическое пространство, а вторые применяются лишь на отельных участках, как наиболее перспективных по данным основных методов.

Таким образом, комплексирование геофизических методов проводится с целями выявить и надежно классифицировать неоднородности геологической среды. Среди общего числа аномалий необходимо выделить те из них, которые обусловлены объектами, представляющими первоочередной интерес. Следует определить качественные и количественные характеристики геологических образований, и, в первую очередь, тел полезных ископаемых, требуемые для оценки их ценности, проектирования дальнейшей разведки и условий добычи.

2. НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ. НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

При проведении геофизических работ приходиться оперировать понятиями нормального поля и геофизической аномалии. И хотя способы их определения в различных методах могут существенно различаться, основные принципы в этих способах являются общими. Это связано с тем, что задачей геофизических исследований является выявление и классификация неоднородностей в геологической среде.

Нормальное поле

Это такое физическое поле условно однородной геологической среды, которое существовало бы в случае отсутствия объектов, нарушающих однородность этой среды. Например, за нормальное в гравиразведке принимают поле силы тяжести условно однородного сфероида Земли, поверхность которого совпадает с уровнем океанов. Это поле определяют исходя из координат точки наблюдения по широте и долготе с учетом значения поля на экваторе. Для уточнения в это поле вносят поправку Буге, учитывающую влияние толщины и плотности промежуточного (между точкой наблюдения и уровнем океана) слоя.

В магниторазведке также рассчитаны карты нормального поля Земли, которое на ограниченной площади принимают за постоянное значение. Его определяют в соответствии с географическим положением этой площади на материке или в море. В методе радиоволнового просвечивания (РВП) нормальное электромагнитное поле вычисляют с учетом паспортной для передатчика начальной напряженности, геометрии (взаимного расположения элементов) установки и коэффициента поглощения поля ($\alpha_к$) условно однородной среды (рис. 2).

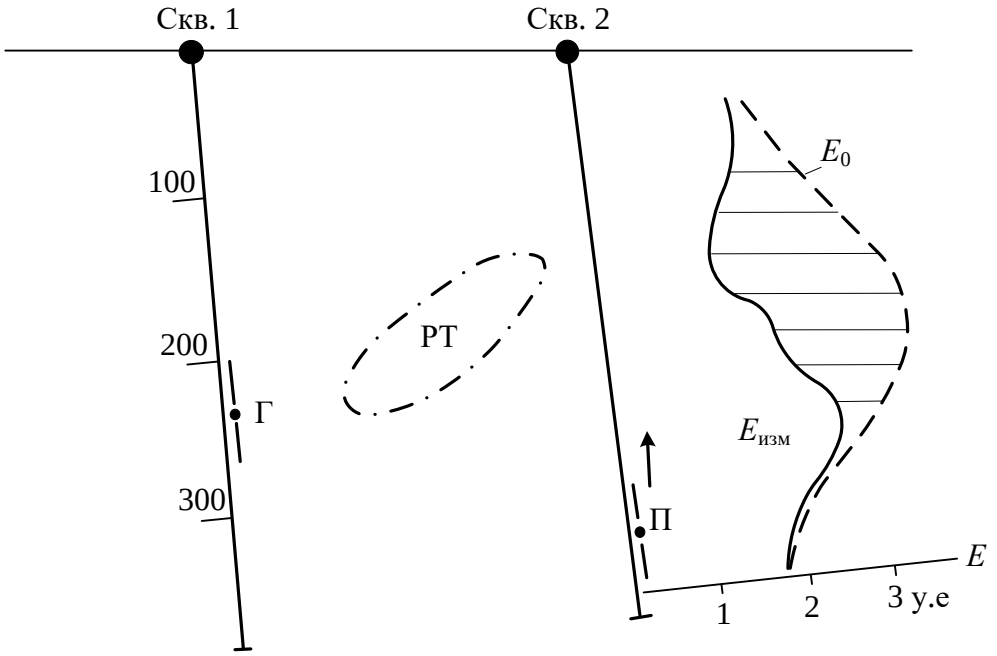


Рис. 2. Пример сопоставления напряженности измеренного ($E_{изм}$) и вычисленного нормального (E_0) поля в методе радиоволнового просвечивания

Г – генераторная антенна; П – приемная антенна; РТ – рудное тело

Похожий подход к определению нормального поля применяют в методе заряда, выражая это поле в виде функции от расстояния точки наблюдения до эпицентра погруженного источника тока. Эту функцию рассчитывают аналитически или определяют стохастическим способом по измеренному полю [13].

В методах, изучающих искусственно возбуждаемые поля, в качестве нормального иногда принимают некоторые обоснованные постоянные значения поля или в виде некоторого диапазона значений с верхним и нижним пределами.

В общем случае нормальным считается поле, обусловленное однородной по конкретному физическому параметру геологической средой. В некоторых случаях условно однородная среда может представлять какую-то структуру, например, горизонтально-слоистое полупространство, измеряемая характеристика поля над которым остается постоянной или изменяется по установленному закону. Принимаемая однородность среды зависит от масштаба исследований. При средне- и крупномасштабных съемках используют понятие о местном нормальном поле, отражающем стохастический подход к его определению.

Стохастический способ определения нормального поля

В методах, изучающих на ограниченной площади естественные физические поля или искусственно возбуждаемые поля при постоянном размере установки (магниторазведка, радиометрия, электропрофилирование и др.), в качестве фона (местного нормального поля) принимают некоторые постоянные значения, характерные для условно однородной геологической среды, которая рассматривается в качестве фонового объекта. Это может быть массив горных пород, горизонтально-слоистая толща или другая структура, характеристики поля для которой по показаниям применяемой установки в идеале должны сохраняться постоянными.

В реальной геологической обстановке в случае наличия такой структуры на результаты геофизических наблюдений влияет масса случайных факторов: мелкая неоднородность физических свойств фонового объекта, изменения геометрии его элементов, рельеф местности и т.п. В этих условиях перспективно использовать стохастический (вероятностно-статистический) подход к определению фона.

Простейшим примером служит статистическое определение коэффициента поглощения в методе РВП, который определяется по не-

скольким значениям, вычисленным на участках трассы измерений, не имеющих признаков экранирования поля генератора проводниками в межскважинном пространстве. Этот коэффициент для изучаемого разреза принимается как постоянная величина и используется при вычислении нормального поля.

Профильная съемка. В более общем случае, как это показано на рис. 3, *а* на примере профилирования методом вызванной поляризации (ВП) с установкой постоянного размера, исходными являются данные измерений на участке, для которого имеются основания отнести поле на нем к условному фону. Как видно из рис. 3, *а*, значения кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) на профиле изменяются в определенных пределах. Для объективного отражения изменчивости поля строится дифференциальная кривая распределения анализируемой характеристики с учетом закона, принимаемого для статистически однородной совокупности этой характеристики. В случае $\eta_к$ распределение хорошо описывается нормальным законом Гаусса. Построение распределения ведется с применением линейной шкалы с разбивкой диапазона измеренных значений на равные интервалы (классы). Ось ординат отражает частость появления при измерениях значений поля для каждого из классов (соответствует середине класса) и принимается в штуках или процентах (рис. 3, *б*). Для характеристики фона желательно иметь не менее 30 измерений.

При ограниченном объеме выборки для построения детальной кривой распределения в статистике применяют прием, предусматривающий использование второй шкалы значений поля. Ширина классов остается прежней, но их границы смещаются относительно первой шкалы на половину класса. Использование дополнительной шкалы позволяет в 2 раза увеличить число точек, по которым строится распределение, не уменьшая ширину класса.

Значение поля А, встречающееся с максимальной частостью (мода), которое при нормальном законе распределения совпадает со средним и медианой, принимают в качестве центрального значения – $\bar{А}_0$ (в рассматриваемом примере изучения поляризуемости $\overline{\eta}_{к0}$=2.5 %).

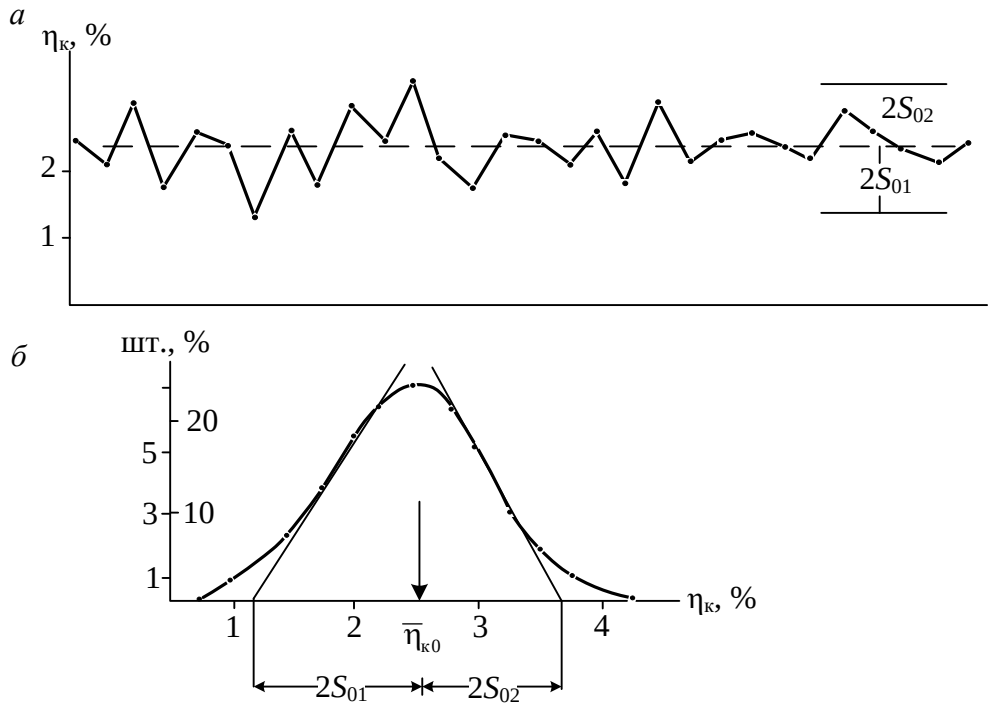


Рис. 3. Графики измеренных значений кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) методом ВП по профилю в пределах фонового объекта (*а*) и дифференциальная кривая распределения значений $\eta_к$ для этого профиля, по которой определяются стохастические характеристики фона (*б*)

Для характеристики рассеивания значений относительно центрального используют среднеквадратичное отклонение – S_0. В теории вероятности ему соответствует стандартное отклонение (стандарт). Для его определения к ветвям кривой распределения проводятся две наклонных касательных (рис. 3, *б*). Согласно теории точки пересечения касательных с осью абсцисс смещены от центрального значения на величины $\pm 2S_0$, а расстояние между точками пересечения равно $4S_0$. В рассматриваемом примере S_0=0,63 %.

При упрощенном способе искомые характеристики определяют графически по графикам измеренного поля на фоновом объекте. Осредняющая график прямая соответствует значению $\bar{A}_0$, а величина S_0 определяется по диапазону изменения фона, который приблизительно равен $4S_0$. На рис. 3, *а* этот диапазон отмечен ограничивающими линиями (в правой части рисунка).

Статистические характеристики нормального поля с распределением по закону Гаусса могут быть вычислены и аналитическим пу-

тем. Центральное значение вычисляется как среднее для n рядовых (i) измерений: $\bar{A}_0 = \Sigma A_{0i}/n$, а величина S_0 определяется по формуле

$$S_0 = \left[\sum_{i=1}^{n} (A_{0i} - \overline{A}_0)^2 / n \right]^{1/2} \quad (1)$$

По результатам оценки статистических характеристик нормального поля его диапазон с надежностью 95 % принимают равным:

$$A_0 = \bar{A}_0 \pm 2\, S_0. \quad (2)$$

Очевидно, что все величины поля, попадающие в этот диапазон, могут рассматриваться как значения фона. По результатам измерений, приводимых на рис. 3, значения в интервале 1.24-3.74 относятся к фоновым характеристикам поля.

При известной величине S_0 к аномалным с надежностью 95 % относятся значения поля, отвечающие условиям: меньше ($\bar{A}_0$-2S_0) или больше ($\bar{A}_0$+2S_0).

Метод заряда. Исходными данными являются значения относительного потенциала, измеренные по некоторой сети, причем для нее известны координаты точек наблюдения, позволяющие определить расстояние от каждой точки до эпицентра заряда. В примере (рис. 4), иллюстрирующем применение способа, результаты съемки поля заряда в рудное пересечение скважины 1 представлены в виде плана изолиний потенциала.

Наиболее распространенной моделью вмещающей среды в этом методе является однородное изотропное или горизонтально-слоистое полупространство. Для реализации способа определения нормального поля на планшете съемки намечаются 6-8 радиальных профилей с началом в эпицентре заряда О. На одном чертеже строят графики измеренного потенциала (U) для этих радиальных профилей как функции расстояния (r) от точки О и проводят осредняющую их кривую $U_{ср}$. Кривая $U_{ср}$ и рассматривается в качестве функции нормального потенциала $U_0(r)$. Естественно эту процедуру можно выполнить аналитически по простейшей программе осреднения.

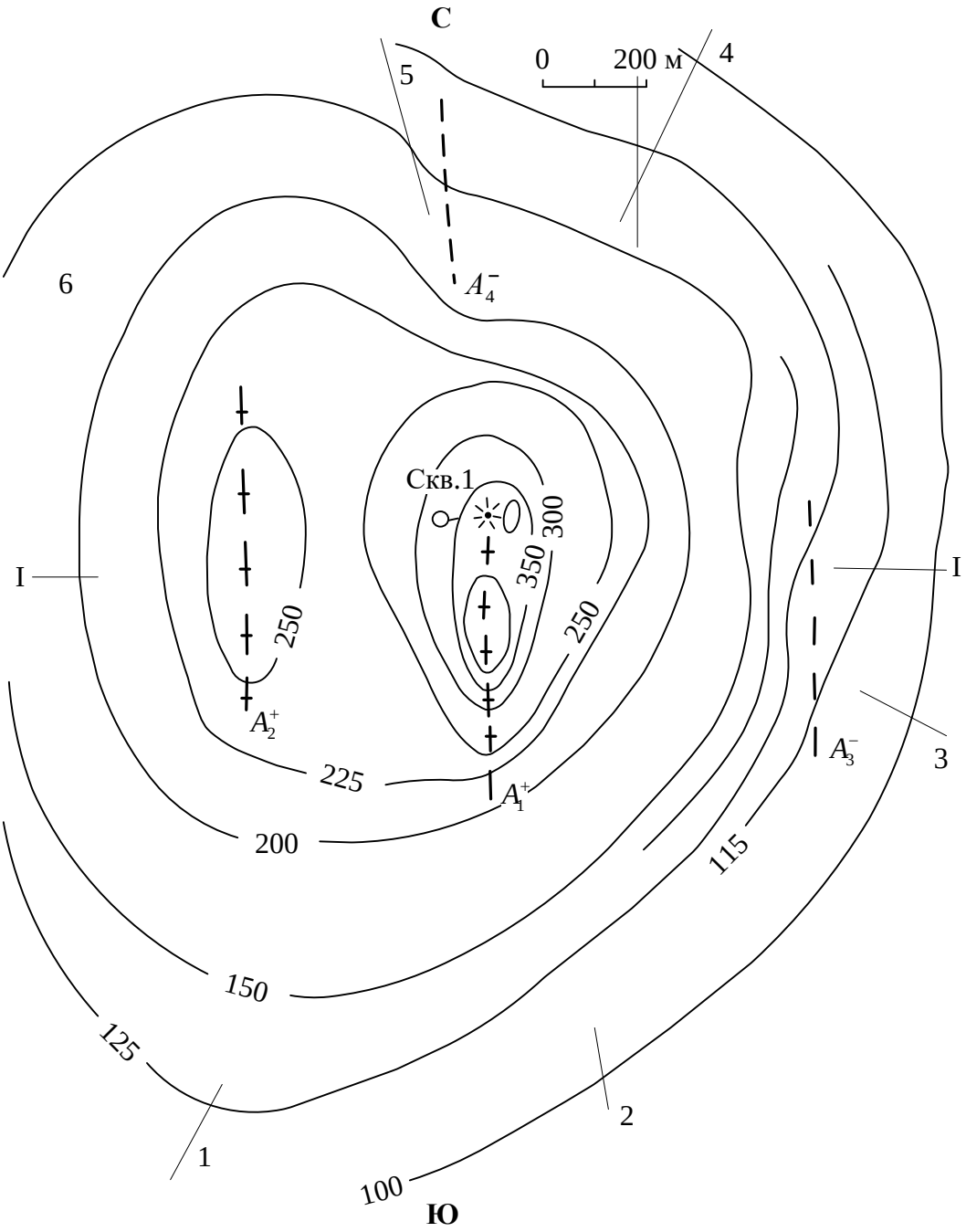


Рис. 4. План изолиний потенциала (в мВ) поля заряда, сделанного в рудное пересечение скв.1:

A^+, A^- - оси положительных и отрицательных аномалий, 1-6 – радиальные профили, *О* – эпицентр заряда; I – I – линия геологического разреза

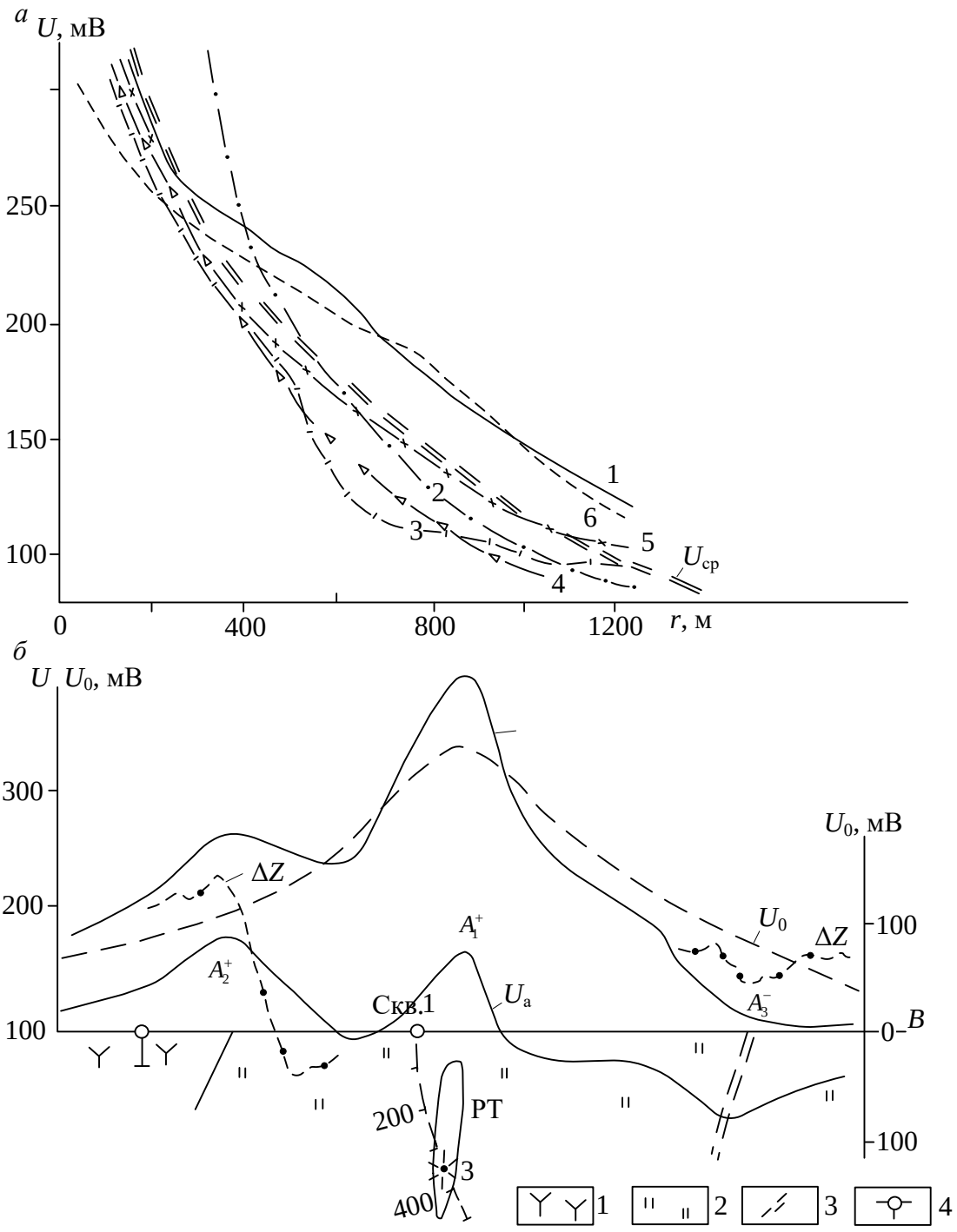


Рис. 5. Результаты обработки и интерпретации поля заряда в скважину 1 (исходные данные на рис. 4):

а – графики потенциала по системе радиальных профилей и осредняющая их кривая ($U_{ср} = U_0(r)$); *б* – графики измеренного, нормального и аномального потенциала (U, U_0, U_a), фрагменты измерений магнитного поля (ΔZ) и геологический разрез по профилю I–I.

1 – субвулканические липарито-дациты; 2 – гидротермально измененные породы; 3 – разрывные нарушения; 4 – скважины; З – заряд; РТ – рудное тело (проекция на плоскость разреза)

В случае наличия признаков проявления анизотропной вмещающей среды стахастический способ определения нормального потенциала в методе заряда применяют с учетом схемы перехода от анизотропной к изотропной среде [13].

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный потенциал по профилю. Пример определения в методе заряда по плану изолиний (рис. 4) нормального потенциала по одному из поперечных профилей показан на рис. 5, *а*.

Геофизические аномалии

Геофизическая аномалия характеризует отклонение физического поля от его нормальных значений. По геофизическим аномалиям изучают неоднородности геологической среды различного масштаба, что позволяет получить представление о самой структуре земных недр. В общем случае, при анализе результатов геофизических измерений в качестве аномальной составляющей рассматривают величину разности между измеренным значением поля в *i*-ой точке (A_i) и местным нормальным полем (A_0): $A_{ai} = \Delta A_i = A_i - A_0$. Нормальное поле может быть постоянным или плавно меняющимся, задаваться некоторыми средними величинами или, при учете его дисперсии, в виде предельных значений. В общем случае к аномальным относятся значения, превышающие верхний предел нормального поля или оказывающиеся ниже его нижнего предела. В первом случае наблюдается положительная аномалия, а во втором случае отрицательная аномалия.

Например, на рис. 2 аномальная составляющая изображена заштрихованной областью и отражает появление отрицательной аномалии, связанной с экранным влиянием сульфидного рудного тела.

В качестве примера определения аномальной составляющей изучаемого поля могут служить результаты, полученные при обработке и интерпретации данных метода заряда, приводимые на рис. 4 и 5. Данные о распределении нормального потенциала $U_0(r)$ используются для выделения в рядовой точке аномальной составляющей U_a измеренного потенциала U, равной

$$U_a = U - U_0(r). \qquad (3)$$

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный, а

затем и аномальный потенциал по профилю. Результаты подобных вычислений нормального потенциала, сопоставления его с измеренным полем и график аномального потенциала по одному из поперечных профилей с элементами геологической интерпретации показан на рис. 5, *б*.

В рассматриваемом примере аномалия A^{+}_{1} связана с приподнятой относительно заряда частью заряженного рудного тела, имеющего северное склонение. Другая положительная аномалия A^{+}_{2} обусловлена контактом гидротермально измененных пород, вмещающих заряженное тело, с менее электропроводной субинтрузией. Отрицательные аномалии фиксируют субвертикальные плоскости разрывных нарушений относительно повышенной электропроводности.

Безразмерные характеристики геофизических аномалий. В ряде случаев для характеристики аномального объекта целесообразно использовать нормирование аномалий относительно каких-то стандартных величин, при котором учитывается уровень фона, снижается зависимость от точности измерений, типа измеряемой аппаратуры, условий наблюдений, вида изучаемого поля. Появляется возможность сопоставлять аномальные эффекты, зафиксированные от одного и того же объекта различными методами или одним методом, но с применением различных технологий, и в других случаях.

В промысловой геофизике при оценке аномалий широко применяется двойной разностный параметр α. Он представляет отношение

$$\alpha = \Delta A_i / \Delta A_э = (A_i - A_0)/(A_э - A_0), \qquad (5)$$

где ΔA_i – аномалия на рядовом объекте, $\Delta A_э$ – максимальная аномалия на объекте принятом за эталон (может быть и любым объектом с которым производится сравнение). Например, при проведении измерений поля ПС в скважине на изучаемом пласте-коллекторе потенциал равен 20 мВ, на пласте с самыми высокими фильтрационно-емкостными свойствами потенциал равен 10 мВ, на глинах, рассматриваемых в качестве фона, зафиксированы значения 60 мВ. Следовательно, для изучаемого пласта имеем $\alpha_{ПС}$ = -40 / -50 = 0,8.

Применение безразмерного двойного разностного параметра удобно для установления корреляционной зависимости $\alpha_{ПС}$ от некоторых промысловых параметров, например, от коэффициента пористости $К_п$, определенного по данным лабораторных исследований, Подобные зависимости часто имеют достаточно универсальное значение и широко используются на производстве.

При геофизических поисковых и разведочных работах на твердые полезные ископаемые для характеристики аномальности *i*-го объекта при применении *j*-го метода используется показатель контрастности γ_{ij}, равный [1]:

$$\gamma_{ij} = \Delta A_i / S_0. \quad (6)$$

В этом параметре учитывается не только аномальность поля относительно уровня фона, но и дисперсия самого фона. Показатель контрастности удобен для сравнения эффективности методов при оценке их конкурентности, а также для вычисления аномальности объекта в случае применения комплекса методов. Для успешного применения метода необходимо условие $\gamma_i > |2|$.

Использование безразмерных величин γ_i позволяет учитывать результаты нескольких методов путем вычисления функции комплексного показателя θ, представляющую алгебраическую сумму показателей контрастности отдельных методов. Знак у показателей контрастности при суммировании устанавливается в соответствии с решаемой задачей, обеспечивая подчеркивание аномальности искомых объектов по комплексу методов. Подробнее этот вопрос рассмотрен ниже в разделах 3 и 5.

3. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Геофизические методы применяются для изучения разнообразных геологических и технических объектов. Это могут быть геологические структуры, благоприятные на содержание ценного сырья, месторождения и отдельные тела полезных ископаемых. К типовым объектам также относятся земельные основания для строительства или прокладки автомобильных и железных дорог, скважины или другие горные выработки на разведуемых или эксплуатируемых месторождениях и др. При организации и проведении геофизических работ на любых объектах необходимо четко сформулировать цели исследований по выявлению и изучению в типовых условиях геологических образований. Следует также рассмотреть возможные варианты их параметров, физические предпосылки для успешного решения поставленных задач. Результаты, получаемые в процессе исследований, часто требуют оперативного и обоснованного внесения корректив в их технологию. Ответственным моментом является представление ито-

говых данных исследований в форме понятной и удобной для специалистов, организующих комплексные геологоразведочные или изыскательские работы.

Решение всех этих вопросов осуществляется с помощью сформированной для соответствующей стадии работ физико-геологической модели (ФГМ) объекта геофизических исследований. Существенный вклад в теорию и методику комплексирования геофизических методов, включая принципы формирования ФГМ, внес выпускник Свердловского горного института профессор Гелий Сергеевич Вахромеев [1].

ФГМ отражает упрощенно-обобщенное представление об изучаемом геофизическими методами объекте, предполагающее наличие системы геолого-геофизических сведений, имеющихся на данной стадии работ. ФГМ создают в период проектирования геофизических работ, в процессе их проведения по мере поступления получаемых данных, а также по завершению работ в виде итогового документа.

Обобщенную ФГМ можно представлять в виде совокупности частных моделей: геологической, петрофизической и физических полей в профильном, плоскостном или объемном варианте.

Геологическая модель. Примеры геологических моделей рудных полей

Геологическая модель отражает представление об объекте исследований как системе геологических тел и проявлений геологических процессов с изображением соответствующих разрезов, карт, блок-схем и т. п.

Представляет интерес рассмотреть обобщенные морфогенетические геологические модели постмагматогенных рудных полей, которые являются предметом изучения при поисках рудных месторождений. Под рудным полем понимают геологический объект, состоящий из генетически родственных сближенных рудных скоплений, гидротермально измененных минерализованных пород и малых магматических образований, представляющих собой фазы отщепления из общего материнского очага и использовавших в своем движении общие каналы. Поэтому при поисках рудных месторождений интерес представляет выявление всех этих структурных элементов рудных полей.

Наиболее отчетливо модели рудных полей продемонстрированы в работах П. Ф. Иванкина на основе детального изучения более 50

глубокозалегающих месторождений руд самого различного состава. Достоинство типизации рудных полей, выполненное П. Ф. Иванкиным, состоит в том, что сформированные им геологические модели отражают в наглядной форме главнейшие их структурные элементы, к выявлению которых могут успешно привлекаться геофизические методы. Об этом свидетельствует опыт успешных поисково-разведочных работ, отраженный в частности в монографии [13]. Большой набор примеров рудных месторождений, изученных в пределах разнотипных рудных полей, часть из которых приведена ниже, рассмотрен в справочнике [9].

Постмагматогенные рудные поля формируются выше или на периферии материнских интрузий, которые являются источником постмагматических растворов, создающих ореолы гидротермальных изменений горных пород и рудные скопления. По характеру взаимоотношений гидротермального оруденения с материнскими интрузиями можно выделить три рода рудных полей.

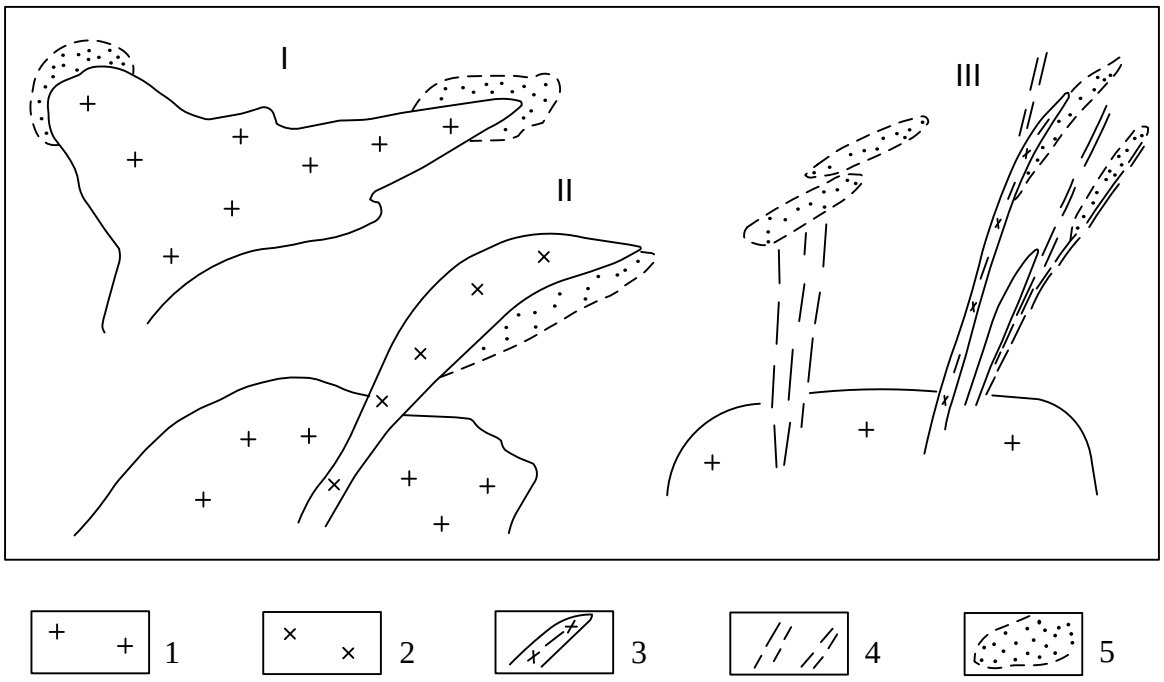


Рис. 6. Морфологические типы (геологические модели) постмагматических рудных полей разного рода (I, II, III) (по П. Ф. Иванкину):
1 – материнский плутон; 2 – тела поздних магматических отщеплений; 3 – лентовидные тела малых интрузий; 4 – разрывные нарушения; 5 – рудоносный комплекс, включающий гидротермально измененные породы и руды

Рудные поля I рода являются ореольными или бескорневыми (рис. 6). Они формируются на ранних стадиях остывания внедривше-

гося магматического тела в условиях широкого фронта отделения растворов по всей или части поверхности материнского интрузива. Растворы обычно обогащены водой, летучими и рудными компонентами. Минерализация вмещающих пород происходит вблизи места отделения растворов от остывающей магмы. В результате образуются широкие ореолы измененных пород с рассеянной или прожилковой минерализацией без богатых локальных скоплений. На поверхности они проявляются в виде полей измененных пород и рассеянной минерализации на достаточно обширных пространствах над погребенными интрузиями или вдоль границ вскрытых эрозией магматических тел. Примеры геологических разрезов месторождений типичных для ореольных рудных полей I рода приведены на рис. 7. Эти разрезы могут рассматриваться как геологические модели этих объектов. Главными структурными элементами их являются интрузии и ореолы рассеянной или прожилковой минерализации.

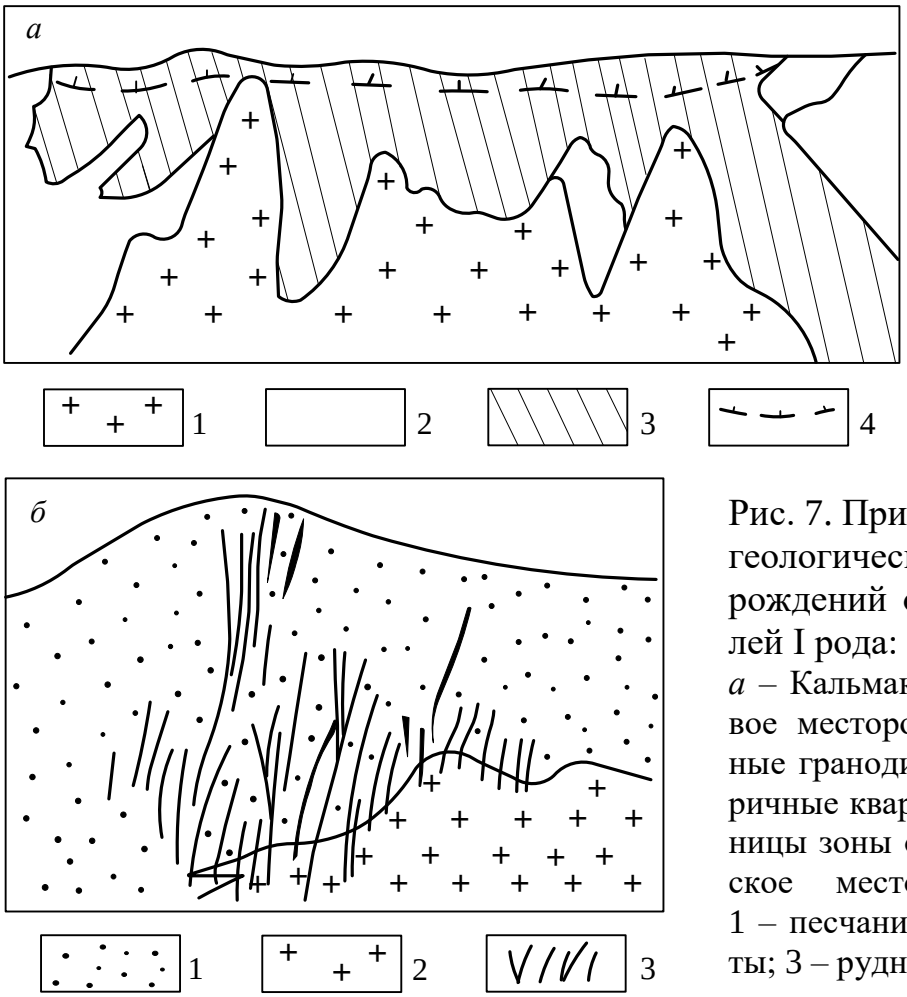


Рис. 7. Примеры схематических геологических разрезов месторождений ореольных рудных полей I рода:
а – Кальмакырское медно-порфировое месторождение: 1 – интрузивные гранодиорит-порфиры; 2 – вторичные кварциты; 3 – руды; 4 – границы зоны окисления; *б* – Иультинское месторождение вольфрама: 1 – песчаники и сланцы; 2 – граниты; 3 – рудные жилы

Рудные поля II рода – это системы рудных тел, окружающих их зон гидротермально измененных пород и поздних магматических от-

щеплений, имеющих общие корни (или рудно- и магмоподводящие каналы), уходящие внутрь крупного интрузива, производными которого все они являются (рис. 6.) Считается, что растворы поступали из верхних частей интрузива и проникали в их кровлю в виде потоков, двигавшихся по нарушениям, контактам или другим проницаемым каналам, что обусловило структурный контроль оруденения. Фигура рудного поля и свойства преобразованных в его пределах пород отражают направленность рудоносных растворов от корней к фронту поля. Рудные поля II рода характерны для гипабиссальных интрузий, часто приурочены к вулканическим постройкам, сформировавшихся над ними, имеют пологие и крутопадающие ветви. Примеры месторождений, типичных для корневых рудных полей II рода, приведены на рис. 8.

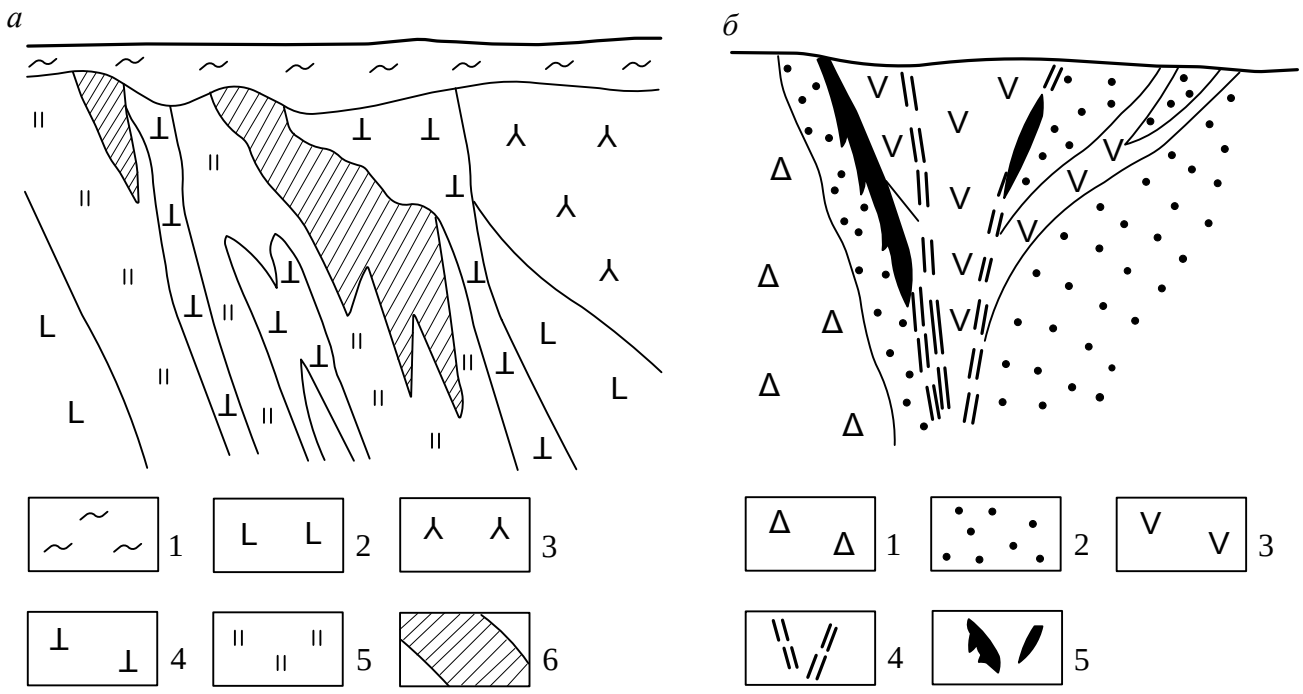


Рис. 8. Схематические геологические разрезы месторождений рудных полей II рода:

а – южная часть Гайского медноколчеданного месторождения: 1 – рыхлые отложения; 2 – туфы; 3 – диабазовые порфириты; 4 – субвулканические липарит-дациты (малая интрузия) ; 5 – метасоматиты; 6 – руды; *б* – молибден-урановое месторождение: 1 – диабазы и спилиты докембрия; 2 – переслаивающиеся осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 3 – субвулканические андезиты (малая интрузия); 4 – разрывные нарушения; 5 – рудные тела

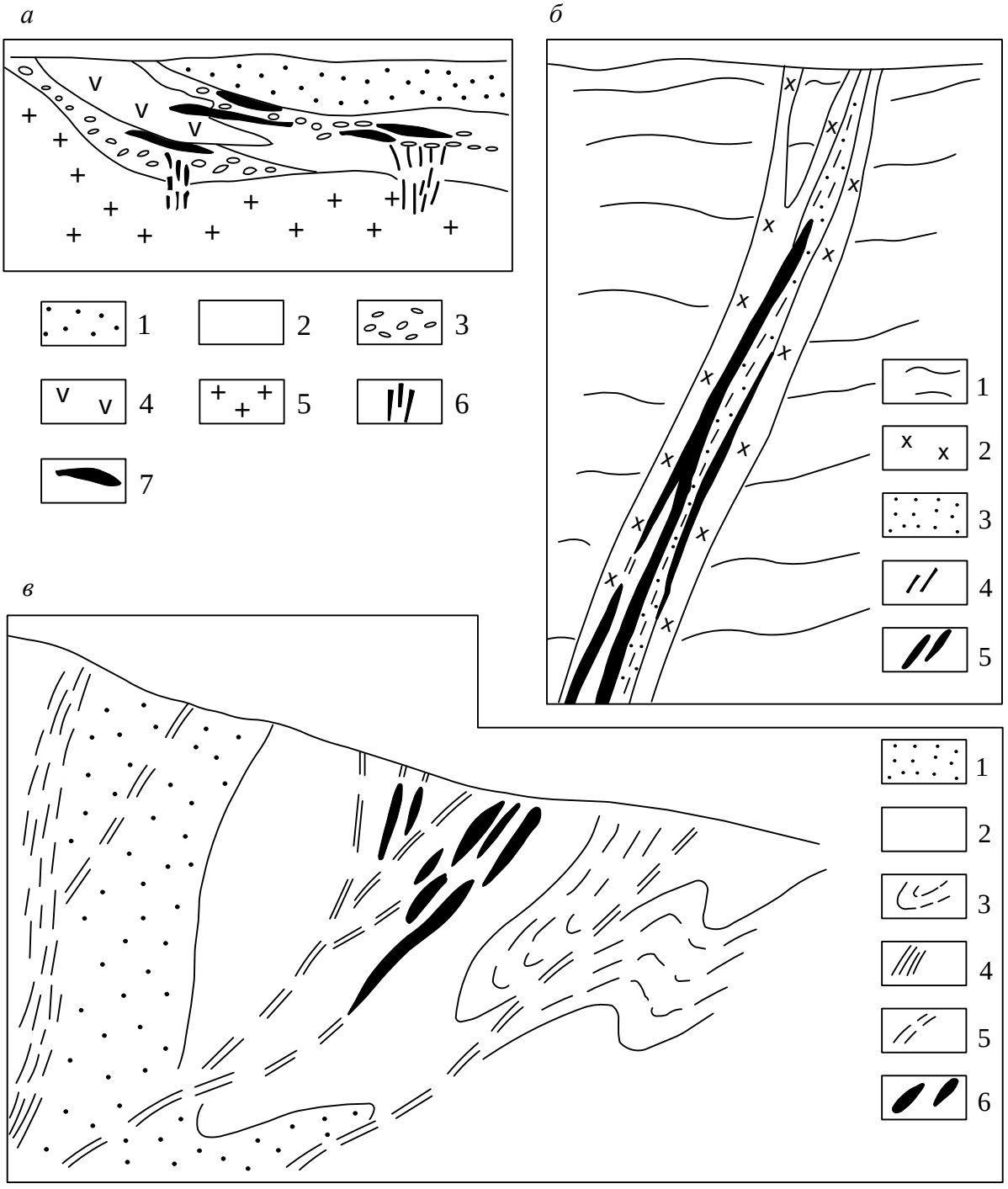


Рис. 9. Примеры геологических разрезов месторождений корневых рудных полей III рода:

а – мышьяково-урановое месторождение: 1 – алевролиты с прослоями песчаников; 2 – песчаники; 3 – конгломераты и гравелиты; 4 – туфолавы; 5 – граниты; 6 – разрывные нарушения; 7 – рудные тела; *б* – уран-титановое месторождение: 1 – кристаллические сланцы и гнейсы; 2 – пегматитовые жилы; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – бластомилониты тектонических швов; 5 – рудные тела; *в* – Сахалинское месторождение киновари:1 – песчаники, конгломераты, алевролиты; 2 – глинистые алевролиты; 3 – пачки глин; 4 – главный разлом; 5 – оперяющие трещины; 6 – рудные тела

К рудным полям III рода относят систему рудных тел, окружающих их измененных пород и иногда сопровождающих их серии малых интрузий, значительно оторванных от глубинных интрузий (рис. 6). Образовавшие их потоки гидротерм приурочены к самостоятельным тектоническим зонам, уходящих на глубину, или к ветвям крупных разломов. Последние являлись открытыми системами и, хотя могут нести следы гидротермальных изменений и минерализации, но промышленных скоплений руды не содержат. В ответвлениях, выклинивающихся к дневной поверхности, или в локальных проницаемых геологических телах, игравшими роль экранированных для растворов резервуаров, с которыми контактировали тектонические нарушения, образуются рудные скопления. Поэтому рудные залежи в рудных полях этого рода залегают согласно со слоистыми толщами или разрывными нарушениями в породах с повышенной пустотностью. Примеры месторождений, характерных для рудных полей III рода, приведены на рис. 9.

Таким образом, как следует из геологических моделей, при поисках рудных месторождений главными объектами выявления геофизическими методами являются рудные залежи, включающие их ореолы околорудных изменений, рудоконтролирующие тектонические нарушения, крупные и малые интрузии. Все эти объекты имеют аномальные петрофизические свойства и благоприятные предпосылки для обнаружения при геофизических съемках.

Модели петрофизические и физических полей

Петрофизическая модель отражает сведения о распределении в геологическом пространстве физических свойств, характеризующих геологические тела, как объекты, имеющие предпосылки для выявления и изучения их геофизическими методами. При этом возможны случаи объединения нескольких геологических образований в структурно-вещественные комплексы (СВК) с одинаковыми или близкими физическими свойствами. В этом случае происходит упрощение петрофизической модели по сравнению с геологической моделью. Однако не исключены случаи, когда внутри условно единого геологического тела существуют участки изменений свойств за счет проявления процессов локального преобразования горных пород, которые отличаются по физическим свойствам и могут фиксироваться геофизическими методами. Такая картина наблюдается при локальном ме-

таморфизме, околорудных изменениях, развитии трещиноватости и др. процессах. В этих случаях петрофизическая модель может отражать результаты действия этих процессов и выглядеть сложнее, чем геологическая модель.

Петрофизическая модель может быть представлена в виде таблиц, типовых физико-геологических колонок, сводных геолого-геофизических разрезов, петрофизических карт или разрезов: самостоятельных или совмещенных с геологическими картографическими материалами. Желательно дополнять традиционно принятые в геологии мелкомасштабные литолого-стратиграфические разрезы (колонки) данными о физических свойствах, представленных на них толщ.

Исходные данные о физических свойствах горных пород для формирования петрофизической модели получают в результате лабораторных измерений на образцах, по данным интерпретации результатов каротажа или параметрических наблюдений физических полей на отдельных участках, а также путем использования справочной литературы. Помимо данных по изучаемой территории обязательно приводятся необходимые сведения об объектах-аналогах, что позволяет учесть опыт предшественников. Примером петрофизической модели месторождения может служить упрощенная типовая физико-геологическая колонка, изображенная на рис.11.

Физические поля или результаты их трансформации отражают данные, получаемые при решении прямой задачи на основе геологической и петрофизической моделей, или же отражают данные реальных наблюдений. Они необходимы для обоснования возможностей геофизических методов. На стадии проектирования это могут быть геофизические поля на объектах-аналогах, ранее изученных в схожих геологических условиях. Физические поля также приводятся как исходный материал, использованный при геологической интерпретации уже выполненных измерений, когда с помощью ФГМ представляются итоговые документы геофизических работ.

Пример физико-геологической модели

В качестве примера на рис. 10, 11 приводится ФГМ уранового месторождения, приуроченного к разрывным дислокациям в метаморфизованных породах протерозоя. По классификации П. Ф. Иванкина оно относится к корневым рудным полям III рода, оторванных от материнского глубинного плутона и приуроченных к тектониче-

ским зонам. На геологической модели (рис. 10, *а*) видно, что разрывные нарушения тяготеют к крыльям антиклинальной структуры, представленной вулканогенно-карбонатными отложениями. Оруденение локализуется в зонах проявления разрывной тектоники преимущественно в сланцевых толщах на участках с повышенной пористостью, появившихся вследствие разуплотнения пород. Рудоносные растворы помимо урана привнесли в зону их разгрузки вещества, сформировавшие ореолы гематитизации и сульфидизации. Эпигнетические изменения вмещающих пород сопровождались образованием в верхней части разреза зоны окисления.

Петрофизическая модель месторождения (рис. 11) отражает развитие аномальных проявлений в физических свойствах, как в контуре рудных тел, так и в околорудно-измененных породах. В рудах помимо высокой радиоактивности (J_γ) отмечается увеличение плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), поляризуемости ($\eta_к$) и понижение сопротивления ($\rho_к$). Вмещающие породы достаточно дифференцированы по физическим свойствам, что позволяет ожидать появление аномалий от складчатых структур. Анализируя петрофизическую модель, можно полагать, что зоны околорудно-измененных пород, характеризующиеся разуплотнением, повышением магнитной восприимчивости, электропроводности и поляризуемости, должны проявиться в магнитном поле, а также по данным методов электрометрии. Следует ожидать наложение на структурную составляющую полей проявлений, связанных с телами рудных тел и сопровождающих их ореолов минерализации.

Действительно, на графиках полей, измеренных комплексом методов по профилю, проходящему через рудоносную структуру (рис. 10, *б*), отражаются главнейшие ее элементы. Так отрицательной локальной аномалией силы тяжести отмечается ядро антиклинали (выход к поверхности карбонатов среди магматических пород). Расширение этой аномалии связано с проявлением зон разуплотнения и трещиноватости, обусловленных существованием здесь разрывных нарушений, как одного из признаков благоприятных условий для проникновения рудоносных растворов.

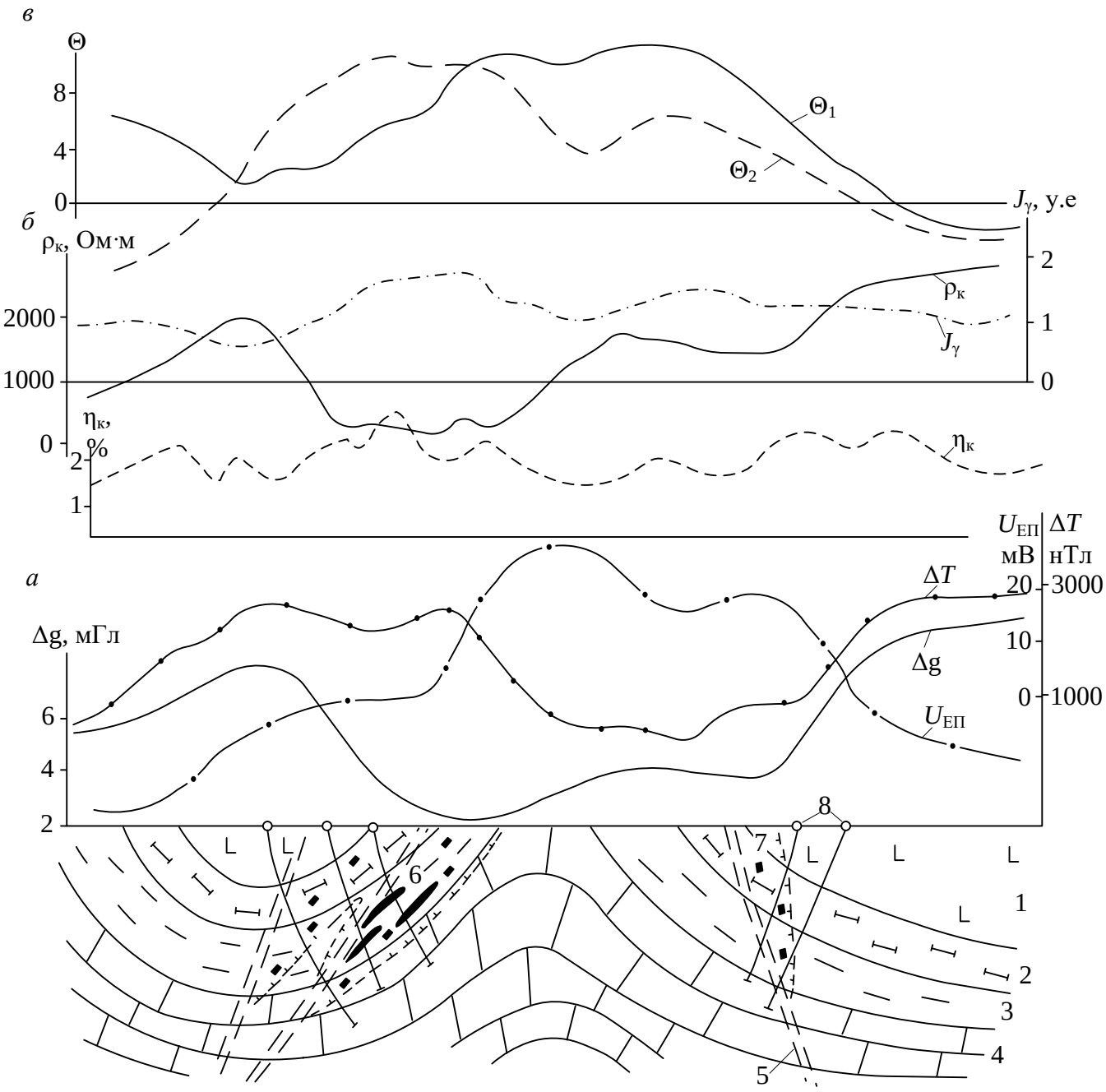


Рис. 10. ФГМ месторождения урана (по В. Е. Голомолзину, В. А. Титовой, А. В. Денисову):

а – геологический разрез (геологическая модель)месторождения: 1 – габбро-диабазы; 2 – пестроцветные слюдистые сланцы; 3 – слюдисто-карбонатные шунгитсодержащие сланцы; 4 – доломиты; 5 – тектонические нарушения; 6 – урановые руды; 7 – зоны гидротермально метасоматических изменений и минерализации; 8 – скважины; *б* – графики геофизических полей; *в* – функции комплексного показателя аномалий гравитационного и магнитного полей (θ_1), полей электрометрии и радиометрии (θ_2)

Отрицательная локальная аномалия магнитного поля, связанная с ядром антиклинали, явно уже гравитационной аномалии, то есть заметно повышение магнитного поля в районе ослабления поля силы

тяжести (над выходом к дневной поверхности рудоносных пород). Такое несоответствие двух полей является признаком отражения развития вторичных процессов, связанных с проявлением рассеянного ожелезнения, что характерно для фронтальной части ореола поступавших из недр рудоносных растворов. Это весьма благоприятный поисковый признак.

Для месторождения характерны участки профиля, на которых отмечается заметное уменьшение удельного сопротивления, хотя и слабое, но заметно повышение поляризуемости среды по данным срединного градиента с размером установки 1000 м. Так как над этим участком также наблюдается заметное повышение гамма-поля, то эти важные признаки следует также рассматривать как благоприятные для обнаружения оруденения.

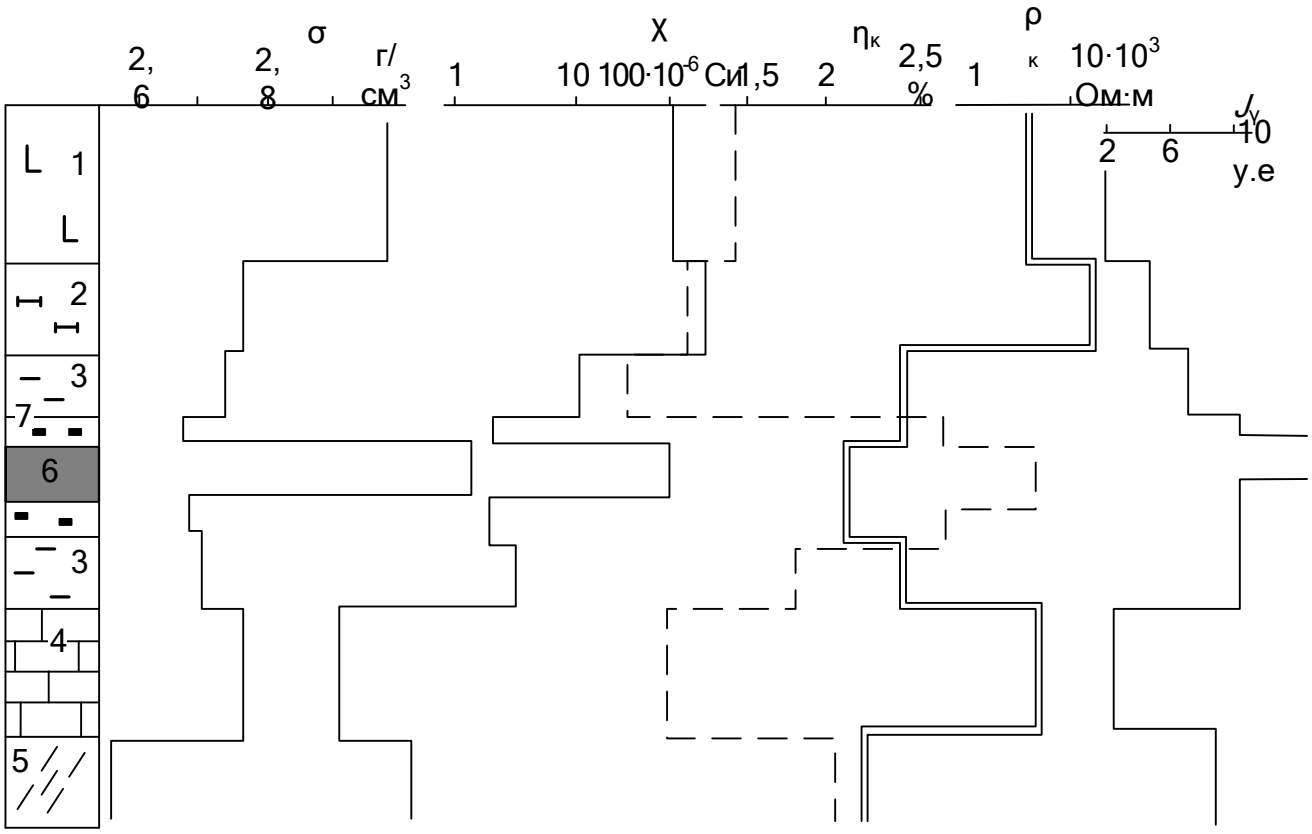


Рис. 11. Типовая физико-геологическая колонка (петрофизическая модель) месторождения урана (см. рис.10):
графики плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), кажущихся поляризуемости ($\eta_к$) и удельного сопротивления ($\rho_к$), радиактивности (J_γ) горных пород разреза (1-7 см. подрисуночные надписи к рис.10, *а*)

Весьма отчетливо влияние рудоносных пород проявляется в виде четкой положительной аномалии естественного электрического

поля. И хотя аномалия несколько смещена по восстанию относительно самого оруденения и наблюдается еще над участком с рассеянной минерализацией, однако, при наличии других признаков район, наиболее перспективный на оруденение, по аномалии естественного поля фиксируется достаточно надежно.

Представление о возможности совместного учета результатов нескольких методов показано на примере двух вариантов функции комплексного показателя (рис. 10, *в*). При вычислениях в качестве нормального поля использовались значения, типичные для участков профиля, проходящих над магматическими породами. Вычислительные формулы для Θ составлялись с таким расчетом, чтобы подчеркнуть положительными аномалиями присутствие объектов, представляющих первоочередной интерес.

Функция Θ_1 вычислялась по формуле $\Theta_1 = - \gamma_{ГР} - \gamma_м$ и отражает совместное проявление аномальности полей гравиметрии и магнитометрии. При структурных исследованиях интерес представляют выходы к дневной поверхности потенциально рудоносной толщи сланцев, и соответствующие им отрицательные аномалии этих полей являются положительными факторами контроля этих искомых объектов. Это обстоятельство учтено в формуле Θ_1. График функциии Θ_1 имеет картировочное значение и положительная аномалия Θ_{A1} хорошо соответствует выходам сланцев совместно с толщей карбонатных пород среди тел магматитов.

Функция Θ_2 отражает аномальность методов электроразведки (КС, ВП и ЕП) и радиометрии, связанных с самим месторождением урана и близрасположенного рудопроявления, и вычислялась по формуле $\Theta_2 = \gamma_{ВП} + \gamma_{ЕП} - \gamma_{КС} + \gamma_Р$. Результирующая аномалия этих методов подтверждает возможность применения данного комплекса методов для поисков урановых руд в геологических условиях близких тем, которые отражены на представленной ФГМ.

Таким образом, сформированная по данным геологии, измерений физических свойств в скважинах и полей на дневной поверхности ФГМ, позволяет расшифровать природу геофизических аномалий наземных методов, выявить те признаки, по совокупности которых можно обнаруживать урановые месторождения в районе с подобными геологическими условиями. Появляется возможность обосновать комплекс геофизических методов, при применении которого можно рассчитывать на успешные результаты поисков.

4. ФОРМИРРОВАНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ РУДНОГО КАРОТАЖА

В настоящее время сведения о физических свойствах при проектировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых в основном получают по данным геофизических методов исследования скважин (ГИС). Одним из вариантов представления петрофизической модели объекта исследований является типовая геолого-геофизическая колонка разреза изучаемой геологической среды. В промысловой геофизике она получила название сводный геолого-геофизический разрез. Поскольку физические свойства осадочной толщи, изучаемой методами промысловой геофизики, достаточно стабильны по латерали, для формирования модели разреза используют диаграммы 2-3 скважин, имеющих пересечения всех структурных элементов разреза.

В рудных районах, характеризующихся высокой изменчивостью разнообразных признаков геологических образований, представление об их физических свойствах можно получить с помощью стохастической модели разреза.

Основными элементами структуры рудного поля являются геологические тела и зоны развития геологических процессов, мощности которых измеряются десятками метров. Отдельный элемент, исходя из опыта ГИС, представляет образование с включениями и его можно с некоторым приближением рассматривать как двухкомпонентную среду. Размеры включений обычно составляют первые метры. Роль включений играют мелкие чередующиеся пропластки пород иного состава по сравнению с вмещающей их средой. К включениям относят также локальные участки проявления выборочного эпигенетического преобразования в геологическом теле, останцы материнской породы, подвергшейся метаморфическим изменениям, и др.

Кодирование диаграмм ГИС

Рассматривая пересечение геологического тела в скважине как двухкомпонентную смесь, предложено выполнять кодирование диаграмм каротажа, позволяющее представить информацию о пересечении в виде характеристик изучаемого свойства (поля) А и долей содержания для каждого из компонентов [8]. Естественно полагать, что для одного из компонентов макросмеси присущи высокие значения

свойства $А_в$, а для другого – низкие значения этого свойства $А_н$. Коэффициенты, отражающие содержание каждого из компонентов, соответственно равны $К_в$ и $К_н$.

Для реализации простейшего способа определения характеристик такой макросмеси необходимо провести в пределах пересечения три линии, осредняющие значения измеряемого свойства для каждого из компонентов (средние значения $А_в$ и $А_н$) и диаграммы в целом (значение $А_{ср}$) (рис. 12). Первые два значения определяют свойства компонентов, а коэффициенты содержания каждого из компонентов находят по формулам:

$$К_в = (А_{ср} – А_н)/(А_в – А_н),\ К_н = (А_в – А_{ср})/(А_в – А_н) = 1 – К_в\ .\quad (4)$$

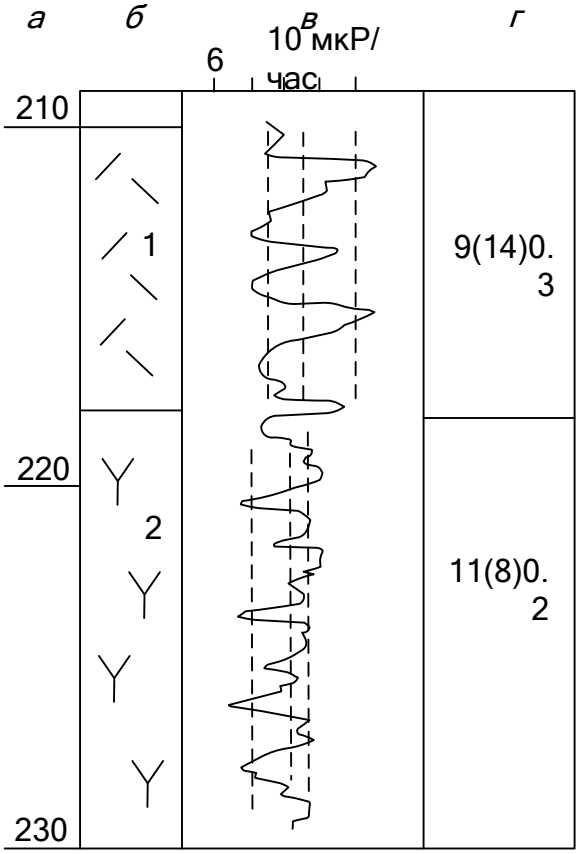


Рис. 12. Пример кодирования диаграммы ГК для двух интервалов участка скважины:
а – глубины; *б* – геологическая колонка; *в* – диаграмма; *г* – результаты кодирования; 1 – туфы; 2 – липариты

Очевидно, что, если мощность рассматриваемого пересечения составляет Н метров, то доли компонентов в метрах равны: $Н_в = НК_в$ и $Н_н = НК_н$.

Информацию об измеренном физическом признаке для каждого пересечения геологического образования можно представить в виде кода следующего вида: $А_{ок}(А_{вкл})К_{вкл.}$ Первое значение соответствует средней величине физического свойства основного компонента, доля

которого в макросмеси выше. Значение в скобках отражает среднее значение физического свойства компонента, рассматриваемого как включение, а последнее значение соответствует его доле в макросмеси. Следует заметить, что основной компонент также как и включения могут характеризоваться относительно высокими или низкими значениями свойства. Например, при кодировании данных измерений методом ГК естественной радиоактивности в мкР/час (рис. 12) для интервала 210-218 м (туфы) с помощью набора значений 9(14)0,3 фиксируется наличие среди основной части пласта мощностью 8 м включений (пропластков с повышенным содержанием кислой фации), на долю которых приходится 2,4 м. Основная масса туфов имеет радиоактивность 9 мкР/час, а более радиоактивные пропластки характеризуются значениями около 14 мкР/ч. Для липаритов, залегающих ниже туфов, пересечение которых зафиксировано в интервале 218-230 м, характерны средние значения для основного компонента 11 мкР/час, а для включений 8 мкР/час. Доля включений составляет 0,2, и поэтому результаты кодирования для этого интервала выражаются набором значений 11(8)0,2.

Имеется программа автоматического кодирования диаграмм методов ГИС, созданная В. А. Серковым при участии автора.

Результаты кодирования позволяют представить данные измерения физического свойства (поля) по скважине в компактной форме, удобной для хранения, трансляции, применения разнообразных способов обработки, построения петрофизических разрезов без потери информации о неоднородной структуре геологических образований, отражающей проявление определенных процессов. Например, имея данные кодирования диаграммы электрометрии с измерениями удельного сопротивления ρ в Ом·м, можно вычислить коэффициент электрической анизотропии λ. Для среды с двухосной анизотропией, характеризующейся удельным сопротивлением вкрест слоистости – ρ_n, по слоистости – ρ_t, справедливы следующие формулы:

$$\rho_n = К_в\rho_в + К_н\rho_н, \quad \rho_t = \rho_в\rho_н/(К_н\rho_в + К_в\rho_н), \quad \lambda = (\rho_n/\rho_t)^{1/2} \qquad (5)$$

Статистическая обработка результатов кодирования

Данные кодирования диаграмм методов ГИС, зарегистрированных по нескольким скважинам изучаемого участка на стадии поисков или разведки, позволяют сформировать петрофизические модели каждого элемента структуры этого участка. Задача практически сво-

дится к получению представления о типичных горных породах и рудах участка, как объектах исследования геофизическими методами. При этом следует отразить те изменения в свойствах этих пород, которые вызывают процессы тектоники, метаморфизма и минерализации.

Петрофизические модели, присущих изучаемому разрезу литотипов горных пород, формируются на основе статистических исследований по выборкам для каждого из них путем построения кривых распределения изучаемых физических характеристик. В выборку для конкретного литотипа включаются все его пересечения, которые на геологических колонках классифицированы приблизительно одинаково. Статистика проводится для каждого изучаемого геофизического свойства отдельно, подобно тому, как это делается при оценке уровня нормального поля стохастическим способом (см. раздел 2). Поскольку распределение для большинства физических свойств статистически однородных совокупностей горных пород подчиняется логнормальному закону, рассмотрим этот случай детально.

Для построения дифференциальной кривой распределения признака (физического поля или свойства) А необходимо выполнить группирование данных о нем по классам (интервалам равной ширины на оси абсцисс), применяя логарифмическую шкалу. Для достаточно представительных (репрезентативных) выборок удобно разбивать один порядок на 4 класса. Например, границы классов могут соответствовать значениям: 1-1,8-3,2-5,6-10-18-32 и т. д. В случае применения второй смещенной шкалы границы классов: 1,4-2,5-4,4-7,8-14-25 ит. д. При таком подходе отпадает необходимость применять бланки с логарифмической шкалой.

В таблицу группирования заносятся значения мощности в метрах. Для двухкомпонентных макросмесей в таблицу заносятся мощности компонентов $H_н$ и $H_в$ в классы в соответствии с характерными для компонентов значениями $A_н$ и $A_в$. В большинстве случаев они разносятся по разным классам, но при близких значениях измеряемого признака мощности компонентов могут попасть в один класс. Дифференциальная кривая распределения (функция частости) строится по данным о суммарной мощности (ординаты) каждого класса (на оси абсцисс это середины классов). Пример дифференциальной функции распределения приведен на рис. 13, *а*.

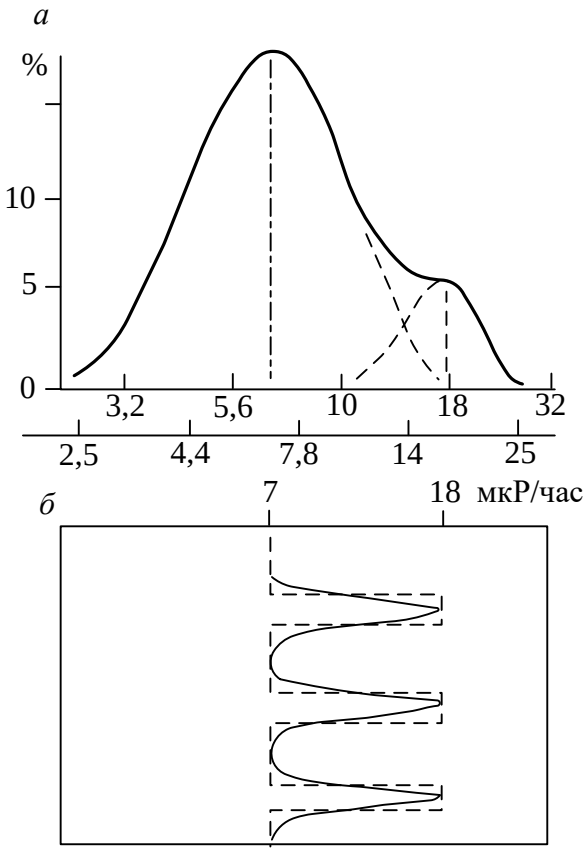


Рис. 13. Пример построения статистической диаграммы для туфов смешанного состава:
а – дифференциальная кривая распределения естественной радиоактивности (выборка по 5 скважинам); *б* – статистическая диаграмма ГК (поле в логарифмическом масштабе)

В большинстве случаев кривые распределения отражают статистическую неоднородность изучаемых образований, которая проявляется в двухгорбности кривых, или они имеют другие особенности, также позволяющие сделать вывод о двухкомпонентной структуре этих образований. Пользуясь известными приемами статистики сложную кривую распределения можно представить в виде двух элементарных кривых, соответствующих логнормальному закону. По ним легко определить центральные значения признака для каждого компонента, а также долю каждого компонента в выборке (по соотношению площадей элементарных кривых). Эти данные и используют для статистической характеристики изучаемых объектов по геофизическим признакам путем построения прямоугольных диаграмм, которые затем могут быть скорректированы с учетом специфики вида аномалий измеряемого в скважинах поля. Так для метода ГК аномальными являются пропластки (включения) с максимумом аномалии в середине пропластков и полумаксимумом на их границах.

Рис. 13, *б* иллюстрирует принцип построения статистической диаграммы для объекта по данным, получаемым при использовании распределения естественной радиоактивности туфов смешанного состава (измерения по 5 скважинам на периферии медноколчеданного

месторождения). О соотношение долей основного компонента и включений можно судить по ширине площадок значений радиоактивности основного компонента и включений. В рассматриваемом примере это соотношение 1:3 и, следовательно, на статистической диаграмме $К_{вкл} = 0,25$.

Построение типовой физико-геологической колонки

Построение начинается с формирования типовой геологической колонки, которая отражает в разрезе весь комплекс геологических тел, участвующих в создании структуры изучаемого участка с отражением последовательности их залегания. При мелкомасштабных исследованиях можно использовать литолого-стратиграфическую колонку, которая создается геологической службой в каждом районе геологоразведочных работ. Такие колонки обычно не имеют масштаба, а сведения о мощностях толщ или геологических тел приводятся на колонке в виде диапазонов их мощностей. На геологических колонках отдельно выделяются объекты, которые развиты в районе не повсеместно, то есть появляются в виде локальных тел. В первую очередь это относится к малым интрузиям, рудным телам и зонам метаморфизма. Подобные объекты изображаются в виде включений в толще вмещающих пород.

На основе дифференциальных кривых распределения геофизических признаков для каждого литотипа формируются статистические диаграммы по изученным признакам для всего разреза в соответствии с геологической колонкой. В большинстве случаев все геологические тела представляются на статистических геофизических диаграммах как образования с включениями. Неоднородность объектов показывают путем изображения прямоугольных или скорректированных с учетом типичной формы диаграмм, подобных той, которая представлена на рис. 13, *б*. Пример типовой физико-геологической колонки (упрощенный вариант без отражения компонентов в горных породах) приведен на рис.10.

Типовая физико-геологическая колонка дает представление о физических свойствах всего комплекса геологических образований в изучаемом районе и на ее основе могут решаться разнообразные задачи в период проведения геологоразведочных работ. Полученные данные используют при формировании петрофизической модели при исследовании участков с условиями близкими тем, которые учтены

при формировании типовой колонки, как на стадии проектирования работ, так при интерпретации измеренных полей. В период разведки типовая колонка помогает правильно классифицировать объекты, изученные методами ГИС.

5. ВЫБОР КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Выбор геофизического комплекса можно рассматривать как творческое решение сложной задачи, требующей высокой квалификации исполнителей. Поэтому недаром в вузах для выпускников геологического направления квалификационной работой обычно является проект поисково-разведочных работ, при защите которого судят о подготовленности выпускника умело обосновать необходимый комплекс методов для успешного решения конкретной задачи геологоразведочного производства.

При выборе геофизического комплекса руководствуются следующими положениями.

1. Необходимо использовать всю имеющуюся информацию о результатах ранее проводившихся в районе проектируемых работ геологических, геофизических и геохимических исследованиях. Это могут быть материалы регионального и среднемасштабного геологического картирования, спутниковой и аэрогеофизической съемки, результаты бурения и изучения опорных или структурных скважин и др.

2. Учесть опыт предшественников по геофизическим исследованиям в схожих геологических условиях, давших в первую очередь положительные результаты. Познакомится с типовыми комплексами применения геофизических методов для целей картирования и поисково-разведочных работ на определенные полезные ископаемые.

3. Сформировать рациональный геофизический комплекс, включающий минимально достаточное число методов, сочетание и последовательное применение которых имеет наилучшие перспективы для решения поставленной задачи с оправданным расходованием требуемых средств.

В комплекс включают методы, несущие разнородную информацию и позволяющие классифицировать (с определенной вероятностью) геологические объекты в пределах изучаемой среды. Методы подразделяют на основные и вспомогательные. Первые планируется

применять на всей площади работ, а вторые, часто рассматриваемые как детализационные, необходимы для определения природы и геометрических характеристик выявленных аномалиеобразующих объектов на участках ограниченных размеров.

Типовой комплекс включает избыточное число методов, поскольку обобщает опыт успешного применения геофизических методов для решения определенного класса задач в разнообразных условиях и при различной аппаратурной оснащенности исполнителей. Приводимые в справочной, учебной и научной литературы сведения дают возможность выбрать лишь оправданно необходимый минимум методов. Тем не менее, в проекте должно быть отражены данные о типовом комплексе и приведены обоснования для принятых решений о выбранном минимуме.

При некоторых геофизических исследованиях специальными документами регламентируется применение определенного обязательного комплекса с возможностью его дополнения методами, для применения которых имеется веские причины. Так, например, в промысловой геофизике результаты исследование скважин не считаются кондиционными, если не применялся обязательный для данной стадии комплекс методов.

Внутри рационального комплекса могут быть отдельно выделены целевые комплексы методов. Это круг методов, объединяемых для решения какой-то узкой задачи. В качестве примера можно привести целевой комплекс методов для выявления крутопадающих секущих разрывных нарушений. Комплекс включает высокоточную магниторазведку, комбинированное электропрофилирование, метод естественного электрического поля. Эффективность этого комплекса продемонстрирована в разделе 8.

При обосновании рационального комплекса следует привлекать количественные оценки геологической и экономической эффективности методов, а также учитывать временные факторы их применения.

Хорошо зарекомендовал себя на практике способ вычисления показателей контрастности отдельных методов γ_j (см. раздел 2) и функции комплексного показателя (ФКП) θ, представляющей сумму показателей контрастности нескольких методов для характеристики комплекса [1]. При обосновании выбора одного из конкурирующих методов предпочтение отдается тому, для которого при анализе условий выделения аномалиеобразующего объекта на материалах ФГМ

или на уже разведанном объекте – аналоге показатель γ_j по модулю больше.

Для комплекса методов составляется формула алгебраического суммирования показателей контрастности с таким расчетом, чтобы аномальные эффекты каждого измеряемого признака для главного объекта поисков или разведки давали увеличение функции θ. Это достигается изменением знака у показателей, соответствующих отрицательным аномалиям. Например, если сульфидное месторождение фиксируется положительными локальными аномалиями гравитационного поля (Гр) и вызванной поляризации (ВП), но отрицательными аномалиями кажущего сопротивления (КС) и магнитного поля (М), то формула для вычисления θ имеет вид:

$$\Theta = \gamma_{гр} + \gamma_{вп} - \gamma_{кс} - \gamma_{м}. \qquad (6)$$

Вычисление ФКП приводит к увеличению контрастности проявления искомого объекта и подавлению помех. Так при поисках сульфидных месторождений фиксируется много локальных положительных гравиметровых аномалий, не связанных с оруденением. С этими аномалиями часто коррелируются положительные аномалии КС и магнитного поля. В результате применения формулы (6) такие объекты-помехи будут сопровождаться низкими или даже отрицательными аномалиями ФКП, что позволит исключить их из рассмотрения.

Необходимо заметить, что для ФКП характерен некоторый фон, на величину которого влияет количество задействованных признаков, фактически число методов m, для которых определены показатели контрастности. В качестве фонового значения Θ_0 используется величина $\pm 2\sqrt{m}$, а в качестве аномальной рассматривается значение превышающее по модулю Θ_0. Поэтому эффективность комплекса оценивают величиной аномалии ФКП – Θ_a.

Эффективность комплекса выше, если Θ_a больше модуля показателя контрастности любого метода. Увеличение числа методов в комплексе приводит к росту фона для ФКП и вполне возможно, что при этом величина Θ_a увеличится незначительно. Поэтому требуется ограничиться минимальным числом методов, применение которых гарантирует уверенное выделение искомого объекта достаточно контрастной аномалией ФКП.

Выбор геофизического комплекса для картирования разрывных нарушений

Тектонические нарушения относятся к важнейшим объектам геофизических исследований, поскольку часто имеют контролирующее значение при формировании месторождений полезных ископаемых. Изучение разрывных нарушений с одной стороны может привести к открытию рудных залежей, а с другой стороны связано с необходимостью установить строение изучаемых геологических объектов, в том числе и рудовмещающих структур.

Разрывные нарушения подчиняются определенной иерархии по размерам и глубине проникновения на глубину. К общим закономерностям можно отнести существование сеток из нарушений различного масштаба, разнородность проницаемости вдоль нарушений, способность к заполнению относительно молодыми геологическими телами.

Наиболее крупные разрывные нарушения, обычно классифицируемые как глубинные разломы, проникают на глубину в сотни километров и имеют ширину до десятков километров. Разломы этого типа представляют полосы, в пределах которых образовались крупные интрузии различного состава, возникли вулканические центры. Пример схемы, образующей сеть из глубинных разломов субмеридиального и субширотного простирания в пределах Оренбургского Урала показан на рис. 14, *а* [4]. Места пересечения разнонаправленных разломов очевидно являлись наиболее проницаемыми каналами поступления из глубины рудномагматических потоков, поэтому именно в узлах сетки из разломов отмечены интрузии, вулканические аппараты и проявления рудной минерализации.

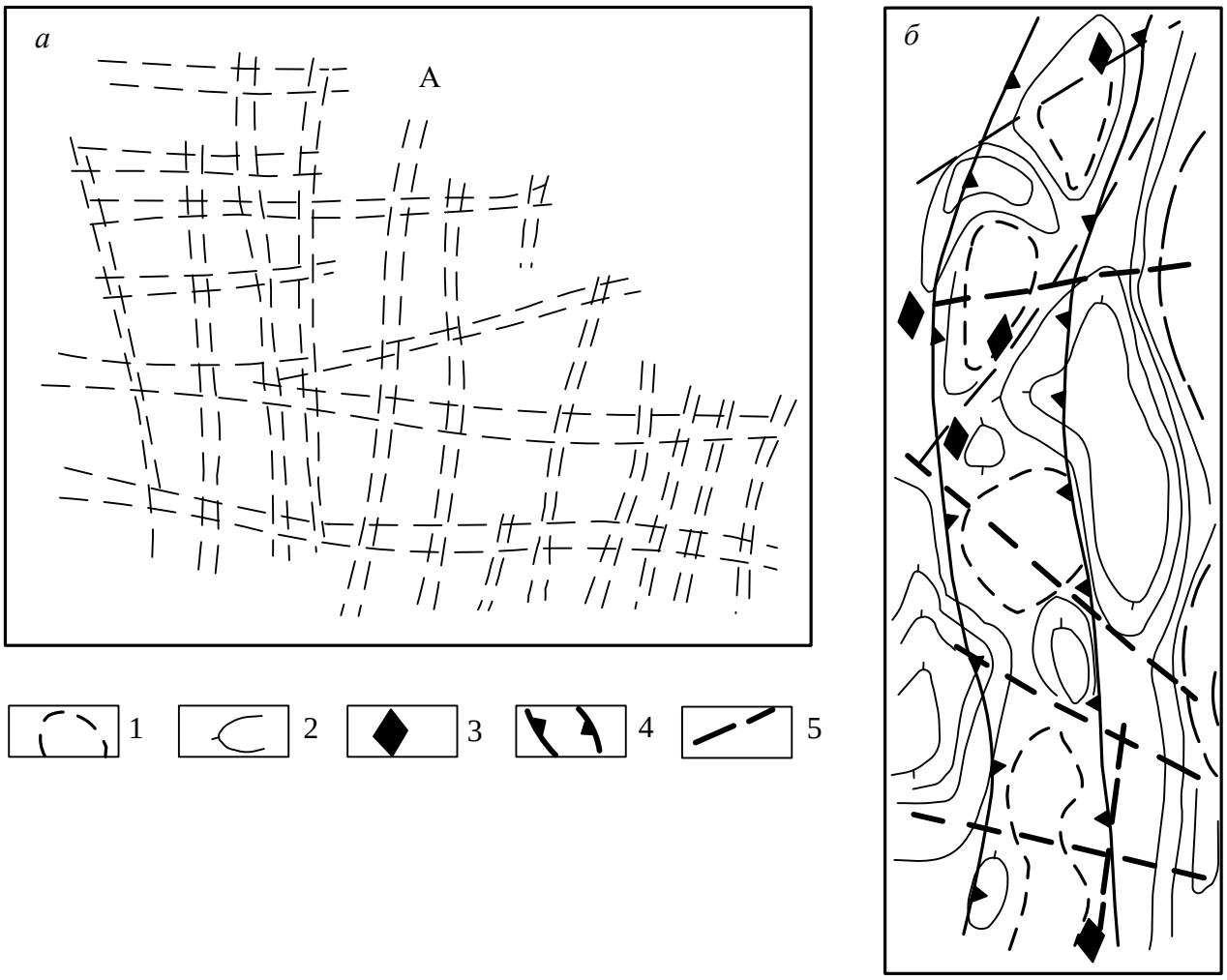


Рис. 14. Схемы сетки поясов глубинных разломов Оренбургского Урала (*а*) и Домбаровской рудной зоны в пределах Ащебутакского пояса (*б*), выделенные по данным гравиметрии (по А. М. Виноградову):
А – Ащебутакский глубинный разлом; *б*: 1 – участки отрицательных остаточных аномалий силы тяжести; 2 – некоторые изолинии положительных остаточных аномалий силы тяжести; 3 – медноколчеданные месторождения; 4 – зона магмовыводящего разлома; 5 – секущие разрывные нарушения

Гравиметрия является наиболее надежным геофизическим методом, обнаружения глубинных разломов, поскольку характеризуется наибольшей глубинностью и способностью выявлять крупные геологические тела при относительно простой технологии съемки.

На примере Домбаровской рудной зоны (рис. 14, *б*), являющейся частью Ащебутакской полосы магмовыводящего глубинного разлома (рис. 14, *а*), видно, что известные медноколчеданные месторождения расположены на периферии отрицательных остаточных аномалий силы тяжести. Последние обусловлены установленными или предполагаемыми на глубине интрузиями гранитоидов. Такое представление о

связи корневых рудных месторождений с глубинными интрузиями преимущественно кислого состава, развиваемого П. Ф. Иванкиным (см. раздел 3), разделяет и крупный специалист в области рудной геофизики Урала А. М. Виноградов [4]. Отметим также приуроченность рудных месторождений Домбаровской зоны к более мелким секущим разломам (рис. 14, *б*), что подчеркивает важность картирования данных объектов. Свой вклад в решение этой задачи может вносить детальная гравиметровая съемка.

Существуют благоприятные предпосылки выявления разломов регионального значения по данным аэросъемки. Наиболее простым является случай, когда тектонический контакт разделяет две разнородные толщи (часто это мегаблоки) с различной магнитной восприимчивостью пород. Разлом определяется по линейной узкой полосе смены знака аномалии магнитного поля типа уступ. В областях смятия разломам соответствуют полосы несогласованности ориентировки локальных аномалий и другие отличительные признаки (см. раздел 8).

По магнитным данным часто картируются тектонические зоны, пересекающие однородный комплекс кристаллических пород. Появление аномального эффекта в подобных случаях связывается с интенсивной гидротермальной проработкой пород, в результате которой сильно намагниченные образования могут утратить свои магнитные свойства. В этом случае наблюдаются линейно-вытянутые локальные по ширине понижения магнитного поля. В других случаях гидротермальная деятельность может привести к значительному обогащению тектонических зон ферромагнитными минералами, что приводит к созданию цепочек вытянутых положительных аномалий.

Накоплен солидный опыт картирования разрывных нарушений по комплексу признаков в гравимагнитных полях, имеющих общие особенности. Подборка типичных проявления в аномальных полях уходящих на глубину разломов на картах площадных съемок приведена ниже в разделе 8 (рис. 24).

Как и при наземной съемке, благоприятные условия для картирования разломов аэросъемкой возникают при проникновении в тектонические зоны интрузий основного и ультраосновного состава. В результате формируются полосы чередующихся локальных для мелкомасштабных карт аномалий, подобных показанным на рис. 14, *б*.

В комплексе с магнитной часто применяют радиометрическую съемку в аэроварианте. Данные гамма-спектрометрических измерений помогают разделить блоки пород различного состава, отличающиеся содержанием радиоактивных элементов. Нередко разломы сопровождаются линейными аномалиями гамма-поля, знак и интенсивность которых зависят от целого ряда факторов.

Сейсморазведка весьма ограниченно используется для обнаружения глубинных разломов в районах перспективных на твердые полезные ископаемые. Исключения составляют работы по отдельным профилям ГСЗ (глубинное сейсмическое зондирование). Основной вклад в изучение глубинной тектоники сейсморазведка вносит в процессе поисковых работ на углеводороды.

Существует группа глубинных разломов более высокого порядка, чем рассмотренные выше, с меньшими размерами в пространстве. Их ширина измеряется сотнями метров. Они также образуют линейные пояса с локальными интрузиями преимущественно одного формационного типа. Подобные разломы нередко выделяются совпадающими гравитационными и магнитными линейными аномалиями. Пример такого разлома, фиксирующего раздвиг в массиве сланцев, показан на рис. 15.

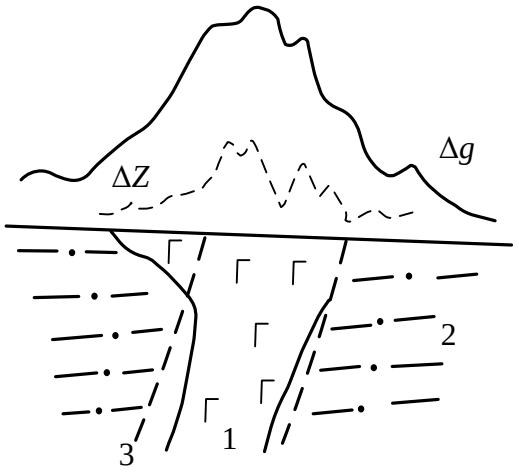


Рис. 15. Пример проявления в гравимагнитных полях разлома, заполненного базальтоидной интрузией [4]:
1 – базальтоиды; 2 – сланцы; 3 – тектонические контакты

Часто разрывные нарушения являются границами относительно жестких участков земной коры, принявшей под действием тектонических сил блоковое строение. Блоки и разделяющие их разломы могут быть различной величины в пространстве и образовываться в результате горизонтальных и вертикальных сдвигов. В этом случае в пределах блоков геологические и геофизические характеристики обладают некоторыми стабильными признаками, а на границах блоков они из-

меняются резко. Примером в этом отношении могут служить материалы, представленные на рис. 16. По нему заметно, что на тектонических границах блоков происходит смена характера гравитационного, магнитного полей и поля электросопротивления.

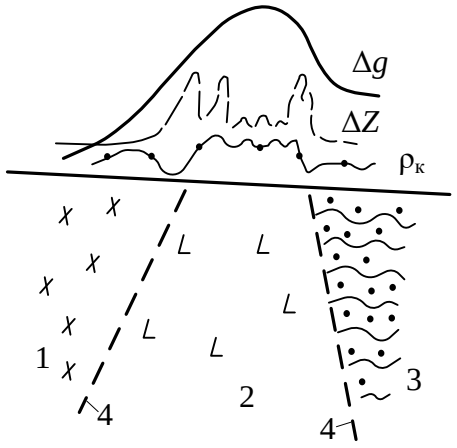


Рис. 16. Пример проявления в геофизических полях (силы тяжести, магнитном, удельного сопротивления) разрывных нарушений, являющихся границами блоков [4]:
1 – гранитоиды; 2 – вулканогенные породы основного состава; 3 – осадочные отложения; 4 – разрывные нарушения

Нередко блоковая структура проявляется в пределах однородных по составу массивов горных пород. Разрывные нарушения, являющиеся границами блоков, имеют относительно небольшую ширину (первые десятки метров и меньше) и представляют зоны трещиноватости с частично измененными дислокациями и другими процессами свойствами горных пород. В районах развития над коренными породами покровов рыхлых наносов и коры выветривания часто над зонами трещиноватости наблюдаются увеличения мощности покрова, что придает дополнительные аномальные свойства разрывным нарушениям. В верхних частях разреза, подвергшихся одновременному воздействию тектонических сил и агентов выветривания, происходит понижение значений многих физических свойств: плотности, магнитной восприимчивости, удельного сопротивления. Эти изменения обуславливают появление отрицательных аномалий гравимагнитных и электрических (кажущегося сопротивления при электропрофилировании и зондировании) полей.

Разрывные нарушения в зависимости от структуры участка и гидрогеологического режима подземных вод могут играть роль дренажной системы или, напротив, системы притока подземных вод. В первом случае над разрывным нарушением наблюдаются отрицательные, а во втором положительные аномалии естественного поля фильтрационной природы. Пример выделения разрывного нарушения комплексом геофизических методов приведен на рис. 17.

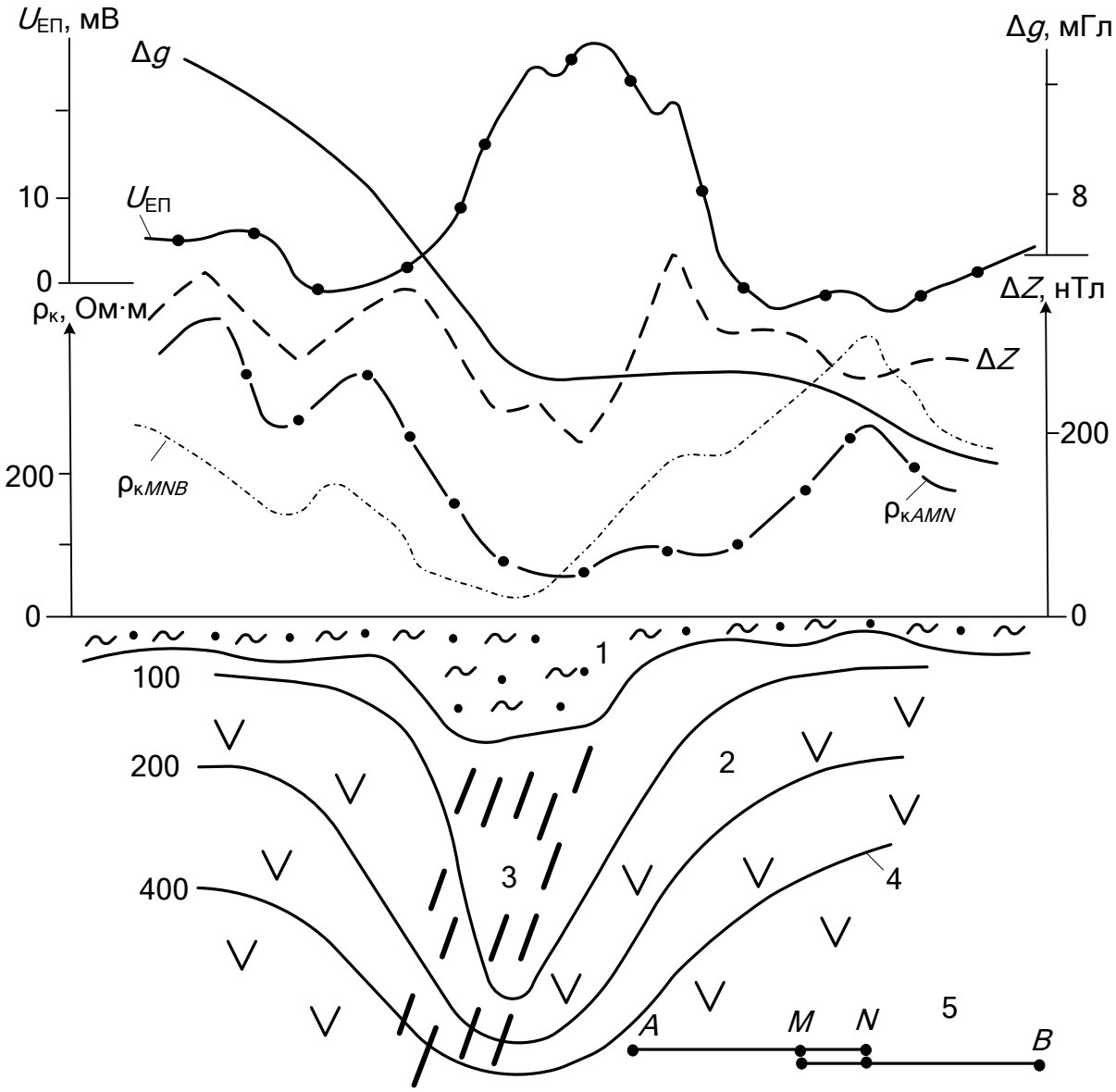


Рис. 17. Аномальные графики геофизических полей и геоэлектрический разрез, фиксирующие разрывное нарушение:
1 – рыхлые отложения; 2 – базальты; 3 – зона трещиноватости; 4 – изолинии кажущегося сопротивления геоэлектрического разреза (результаты метода ВЭЗ); 5 – установка комбинированного электропрофилирования

Приводимые на этом рисунке характеристики геофизических полей получены для относительно простой обстановки, когда тектоническое нарушение рассекает относительно однородные горные породы.

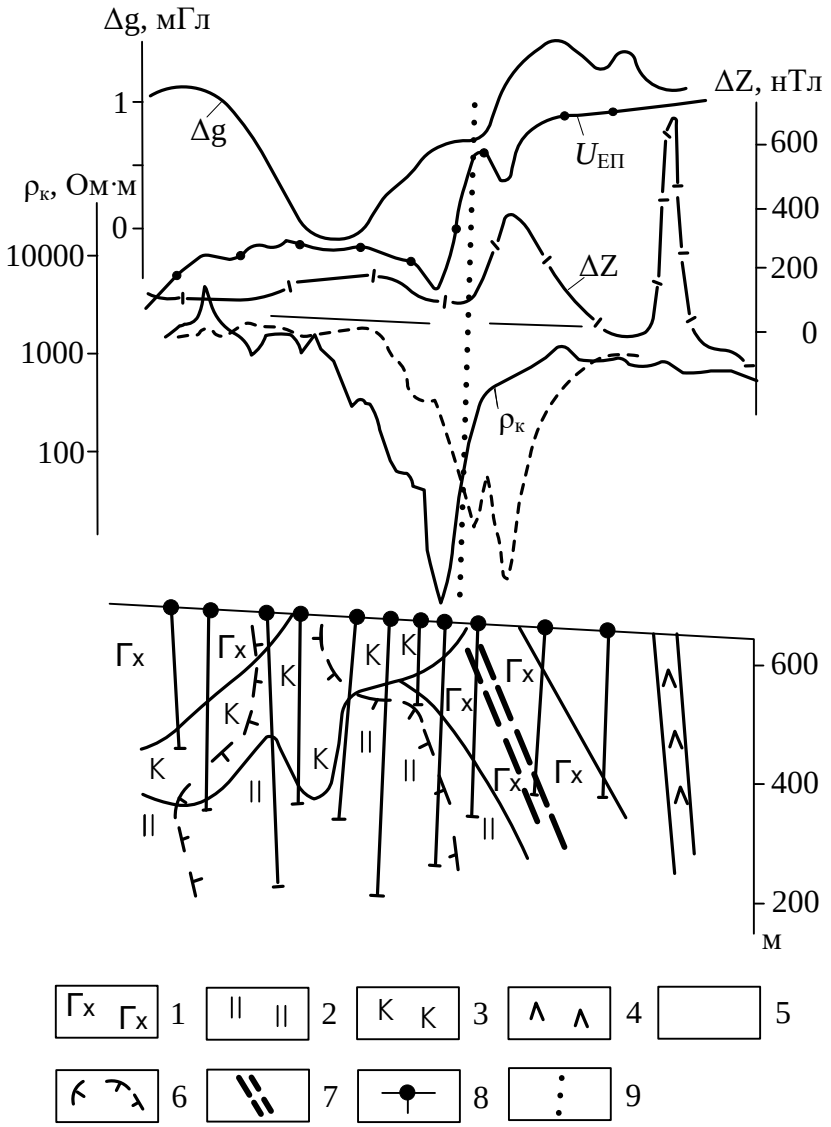


Рис. 18. Пример проявления в геофизических полях золоторудного месторождения в коре выветривания и разрывного нарушения, игравшего роль рудоподводящего канала (по материалам Северо-Енисейской геофизической экспедиции):
1 – кварц-графитистые сланцы; 2 – кварц-карбонатно-слюдистые сланцы; 3 – золотоносные коры выветривания; 4 – дайка пород основного состава; 5 – кварц-слюдистые сланцы; 6 – контур пород с повышенным содержанием золота; 7 – разрывное нарушение; 8 – скважины; 9 – корреляционная ось локальных аномалий геофизических полей над разрывом

Более интересен случай проявления разрыва на участке его действия как рудоподводящего канала. Примером в этом отношении являются материалы, представленные на рис. 18. На нем показаны графики геофизических полей, измеренные над золоторудным месторождением, сформировавшимся в коре выветривания. Рудоносные

породы отчетливо выделяются отрицательной аномалией силы тяжести как участок разуплотнения, который, видимо, существовал до начало рудообразования, и был подчеркнут изменениями при поступлении активных золотонесущих растворов. К индикаторным признакам изменений в горных породах также относятся понижения магнитного поля и удельного сопротивления, отрицательная аномалия естественного поля. Увеличивает вероятность проявления золоторудного месторождения существование в краевой части ореола измененных пород наклонного разрывного нарушения, которое фиксируется типичным набором локальных аномалий, близким по виду, тому, который наблюдается на рис. 17. Отличие состоит в том, что над разрывом в рудовмещающих породах локальные аномалии проявляются на более сложном фоне.

Наличие четких аномалий над разрывным нарушением подчеркивает важное значения этого объекта для формирования месторождения. С большой долей вероятности можно полагать, что по этому каналу трещиноватых пород и поступали к палеодневной поверхности рудоносные растворы. Просочившись в проницаемую среду они сформировали золоторудную зону, которая классифицируется как приуроченная к коре выветривания.

В условиях перекрытия разрывных нарушений мощным покровом осадочных пород или в случае слабой проявленности изменений физических свойств в зонах тектонических дислокаций существенную помощь в выявлении разрывных нарушений может оказать обобщение данных нескольких методов в форме функции комплексного показателя (см. раздел 2). В качестве примера на рис. 19 приведены результаты исследований над тектонической зоной дробления, включающей пегматитовую жилу. Тектоническая зона фиксируется четкой аномалией ФКП с максимумом равным 11,5 единиц при уровне фона для трехметодного комплекса в 3,4 единицы. По показаниям отдельных методов (радиометрии, магнитометрии и электропрофилирования) эта зона почти не проявлена.

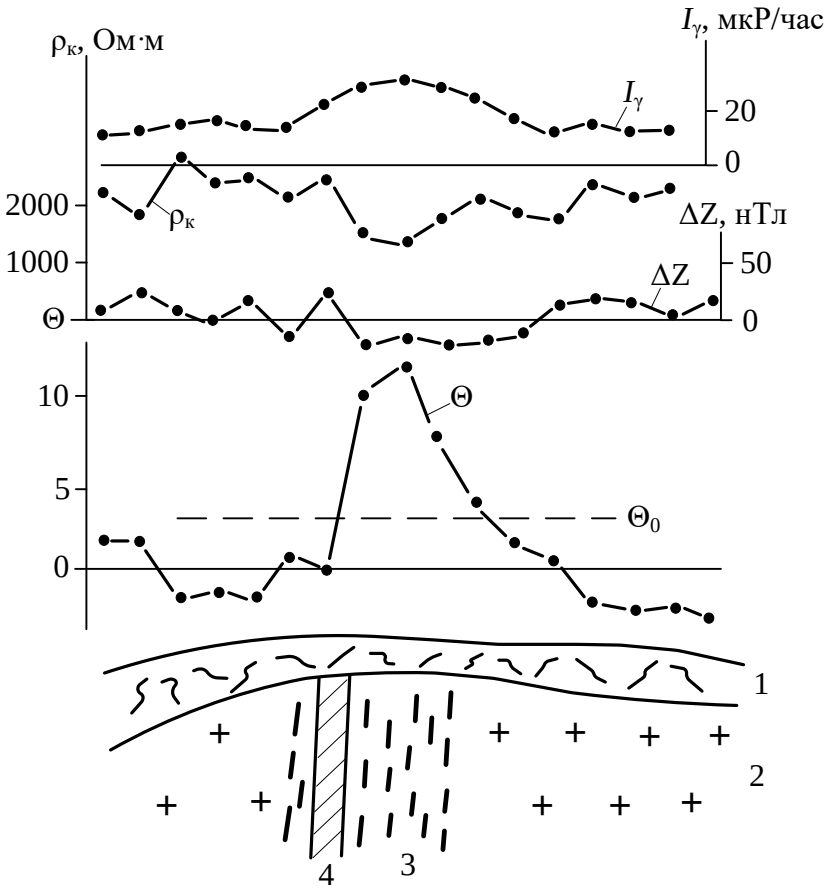


Рис. 19. Графики наземной гамма-съемки, электропрофилирования и магниторазведки над зоной дробления, включающей пегматитовую жилу, обобщенные способом построения ФКП (по Г. С. Вахромееву):
1 – элювиальные отложения, 2 – граниты; 3 – зона дробления; 4 – пегматиты

Определенную помощь в выделении разрывных нарушений особенно на стадии поисков рудных месторождений может оказать малоизвестный способ картирования горных пород по вектору градиента электропроводности [12]. Доказано, что многие геологические тела, включая зоны смятия, трещиноватости, ореолы околорудных изменений и др., характеризуются областями изменений электропроводности, что, как было показано на приведенных ранее примерах (рис. 10, 17, 18), позволяет успешно применять для их выделения методы электрометрии. Отличительным свойством рассматриваемого метода является способность измерять новый параметр – градиент кажущегося удельного сопротивления (в дальнейшем сопротивления), а также выявлять геологические образования, когда над ними не окажется ни одной точки наблюдения.

Для практической реализации метода рекомендуется крестообразная установка. Она включает питающий электрод *A*, а также две

пары приемных электродов M_1 N_1 и M_2 N_2, расположенных на взаимно перпендикулярных линиях. Каждый из приемных электродов удален от центра (A) установки на одинаковое расстояние r. Отрицательный питающий электрод относят, как и в методе заряда на значительное расстояние. Для определения направления наиболее резкого падения сопротивления $\Delta\rho_r$ в окрестностях установки строят вектор по измеряемым составляющим (разностям потенциалов) ΔU_1 и ΔU_2, оси для которых направлены из A на приемные электроды N_1 и N_2. Значение $\Delta\rho_r$, которое согласно теории метода представляет разность сопротивлений в центре установки и минимальным сопротивлением на окружности радиуса r, вычисляют по формуле:

$$\Delta\rho_r = 2\pi r J^{-1}(\Delta U_1^2 + \Delta U_2^2)^{1/2}. \quad (7)$$

Величина градиента сопротивления равна $\delta\rho_r = \Delta\rho_r / r$.

Крестообразная установка рекомендуется не для детальных исследований, а для выделения на исследуемой площади главнейших аномальных по электропроводности объектов, к каким относятся и разрывные нарушения. Съемку можно проводить по редкой и нерегулярной сети с радиусами измеряемыми сотнями метров. При картировании геологических образований руководствуются типичными картинами поведения векторов градиента и перпендикулярным им изолиниям сопротивления [12]. Естественно, что изолинии должны оконтуривать участки, на которых происходит изменение электропроводности горных пород. Так разрывные нарушения должны иметь линейную форму изолиний сопротивления и систему векторов градиента, перпендикулярных простиранию разрыва.

На рис. 20 приведены результаты, полученные на территории, включающей медноколчеданное месторождение. Исходные данные для построения векторов градиента сопротивления получены И. М. Петруниным. В пределах изученной площади по векторам градиента и изолиниям сопротивления (перпендикулярным векторам) выделяются главные элементы рудоносной структуры: субмеридиональная зона смятия (фиксируемая комплексом геофизических методов и подтвержденная бурением), игравшая роль рудоподводящего канала, оперяющее секущее тектоническое нарушение со следами околорудных изменений в боковых породах (рудораспределяющий канал) и само месторождение. Отметим, что на изученной площади зафиксированы другими геофизическими методами многочисленные аномалии, создающие сложную для расшифровки картину.

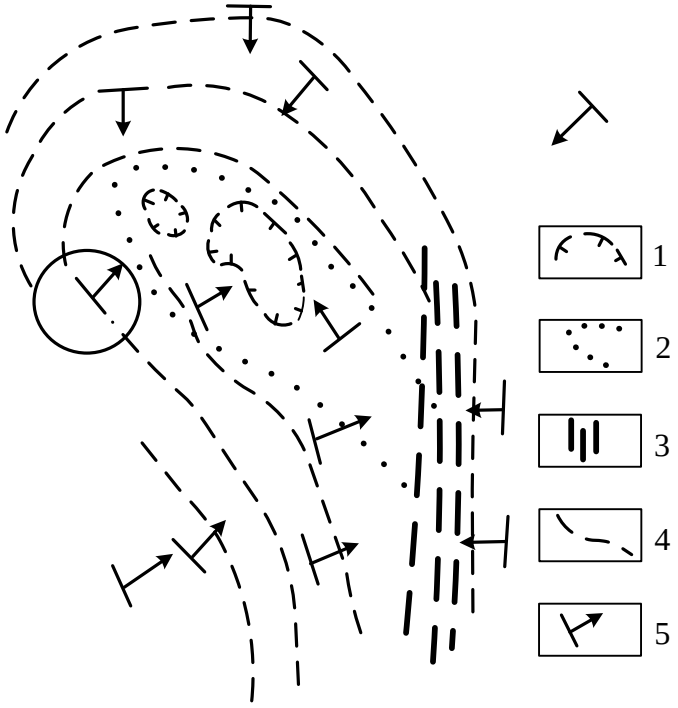


Рис. 20. Результаты измерений градиента электропроводности на южноуральском медноколчеданном месторождении:
1 – контуры рудных залежей; 2 – контуры ореола околорудных изменений; 3 – тектоническая зона смятия; 4 – изолинии удельного сопротивления; 5 – векторы градиента электропроводности

Завершая тему выбора геофизического комплекса для выделения разрывных нарушений, еще раз подчеркнем необходимость учитывать их иерархию, сложность структуры объектов из-за насыщенности внедрившихся в ослабленные зоны более локальных по размерам геологических тел, типичные размеры разрывов различного порядка и возможности их выявления разноглубинными методами.

Пример формирования поискового комплекса геофизических методов

Рассмотрим пример формирования геофизического комплекса на примере детальных поисков урановых месторождений в условиях геологической среды, представление о которой дает геологическая модель, изображенная на рис. 6, *а*. Планируются поиски эндогенных месторождений секущего типа в пределах складчатой области в условиях развития разнообразных по составу и возрасту пород (субинтрузии магматических пород в толщах осадочных отложений и метаморфизованных комплексов). Мощность рыхлых отложений не пре-

вышает 30 м. Оруденение локализуется в пределах наиболее проницаемых разностей осадочных и метаморфических пород. Положение рудных залежей контролируется системами разрывных нарушений. Вдоль рудоконтролирующих систем развиты ореолы гидротермально измененных пород с проявлением сульфидной минерализации и процессов окисления продуктов метасоматоза. В периферийной части этих ореолов отмечается увеличение концентрации темноцветных минералов с повышенной магнитной восприимчивостью. Внутри ореолов, напротив, превалируют щелочные минералы с ухудшением магнитных свойств. Рудные скопления образуют крутопадающие линзо- и жилообразные, реже штокверкоподобные залежи.

На основе опыта применения геофизических методов для поисков месторождений урана данного типа в справочной литературе рекомендуется следующий типовой комплекс для масштабов съемки 1:10000 и крупнее [2].

Геофизические методы, применяемые при детальных поисках урановых месторождений секущего типа

Метод	Решаемые задачи	Особенности геофизических полей
Гамма-съемка спектрометрическая	Обнаружение урановой минерализации, картирование интрузивных массивов	Гамма-аномалии
Эманационная съемка (шпуровая)	Выявление ореолов рассеивания урана	Локальные аномальные зоны
Гравиразведка	Картирование субинтрузий, крупных разрывных нарушений	Положительные аномалии над субинтрузиями, ослабление поля над зонами разломов
Магниторазведка	Картирование субинтрузий, обнаружение признаков ореолов гидротермалитов	Положительные аномалии над субинтрузиями, нарушение корреляции магнитных и гравиметровых аномалий над ореолами
Электроразведка (ЭП, ВЭЗ, ВП, заряд, ЕП, ЗСП, МПП и др.)	Литолого-петрографическое картирование, прослеживание рудоносных ореолов, зон трещиноватости, участков окисления и восстановления в зонах минерализа-	Дифференциация пород по удельному сопртивлению от высокоомных субинтрузий до низкоомных метасоматитов и зон трещиноватости, выявление участ-

	ции, определение мощностей рыхлых отложений и коры выветривания.	ков с сульфидной минерализацией как признака околорудных изменений
Сейсморазведка	Расчленение геологического разреза на глубину	Выделение границ толщ, фиксация зон тектонических нарушений в разрезе

Поиски начинаются со специализированного геологического картирования, задача которого является уточнение существующих геологических карт в масштабах 1:25000 и 1:10000 с последующей локализацией площадей под поиски. Основными являются гравиразведка, магниторазведка, электропрофилирование по системе редких профилей, метод ВЭЗ в отдельных точках в помощь электропрофилированию, радиометрия. По результатам предварительной интерпретации материалов съемки всех геофизических методов строятся прогнозные разрезы, для уточнения которых задаются мелкометражные скважины.

Интерпретация геофизических данных осуществляется с целью выделения и оконтуривания участков проявления поисковых признаков, преимущественно косвенных. На выявленных перспективных площадях проводятся детальные поиски масштаба 1:5000 и 1:2000 в комплексе с разведочным бурением, проходкой канав. На этих площадях сгущается сеть ранее применявшихся методов, в комплекс вводятся детализационные методы: заряда, ВП, ЕП, эманационная съемка в шпурах и мелких скважинах. В глубоких скважинах выполняются каротажные работы комплексом методов, включая метод ГК.

Эффективность комплекса поисковых геофизических методов показана на примере материалов, на основе которых сформирована ФГМ для одного из районов, в пределах которого было открыто урановое месторождение (см. раздел 3).

6. ТОЧНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЙ

Вопрос о точности наблюдений возникает как в период проектирования геофизических работ, так и по их завершении. При планировании точности наблюдений необходимо знать уровень аномалий от объектов, представляющих интерес для решения стоящих задач, погрешности измерений, которые возникают при применении имеющейся аппаратуры и планируемой технологии измерений, а также вероятный диапазон геологических помех, типичный для фоновых образований из-за их неоднородности.

Сведения об интенсивности аномалий, подлежащих обнаружению, получают исходя из анализа сформированной ФГМ и опыта предшественников. Обычно ориентируются на некоторую минимальную по интенсивности аномалию, которая характерна для объекта,п представляющего интерес при решении поисковой задачи.

Необходимо учитывать, что искомую аномалию придется обнаруживать на фоне нормального поля, присущего среде, вмещающей искомый аномалиеобразующий объект. Нормальное поле всегда имеет некоторую дисперсию D_0, которую можно охарактеризовать через среднеквадратичную погрешность измерения нормального поля S_0, поскольку $D_0 = S_0^2$. Как уже отмечалось в разделе 2, величину S_0 можно оценить несколькими способами. К стандартным относится аналитический способ, основанный на использовании данных n измерений поля А в пределах фоновой среды и формулы (1). В случае малой выборки вместо n применяют значение $n–1$.

Дисперсия значений в пределах нормального поля слагается из дисперсии геологических помех $S_{Г,}$ вызванных неоднородностью фонового объекта, и дисперсии показаний, связанных с аппаратурно-методическими (условно приборными) погрешностями измерений $S_П$. Поэтому общая дисперсия измерений фона равна: $S_0^2 = S_Г^2 + S_П^2$.

Приборная погрешность оценивается по результатам независимых контрольных n измерений поля по формуле

$$S_п = \pm\sqrt{\sum_1^n (A_1 - A_2)^2 / (2n-1)},$$

A_1 и A_2 – соответственно первичное и контрольное измерение на i-ой точке.

По величине составляющей $S_Г$, которая равна $S_Г = (S_0^2 - S_П^2)^{1/2}$, получают представление о влиянии геологических помех.

Для успешного выделения аномальных значений A_a, как это уже отмечалось в разделе 2, необходимо чтобы выполнялись условия: $A_a < (\bar{A}_0 - 2 S_0)$ или $A_a > (\bar{A}_0 + 2 S_0)$. В первом случае выделяется отрицательная, а во втором случае положительная аномалии.

Для снижения общей погрешности измерений S_0 руководствуются следующими положениями [1,3].

1. Если $S_Г > S_П$, то для снижения $S_Г$ полезным оказывается применение специальных методов обработки данных съемки с целью подавления геологических помех, носящих часто случайный характер. Например. простое сглаживание измеренного поля по N точкам уменьшает $S_Г$ почти в N раз.

2. Если $S_П > S_Г$, то есть смысл применить более точную аппаратуру или усовершенствовать технологию измерений. Например, за счет многократного (N кратного) измерения поля на одной точке и использования осредненного его значения удается уменьшить величину $S_П$ приблизительно в $\sqrt{N}$ раз.

Среднеквадратичная приборная погрешность $S_П$ вычисляется по результатам каждой съемки. Обычно планируется для выполненного объема наблюдений провести приблизительно в 5 % точках контрольные измерения.

7. ОБОСНОВАНИЕ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

Как правило, сеть наблюдений представляет систему параллельных профилей, на которых намечаются с определенным шагом точки наблюдения. Условно принимают, что профили параллельны оси x и перпендикулярны оси y. Тогда расстояния между профилями – Δy, а между точками – Δx.

Обычно геофизическая съемка проводится в помощь геологическому картированию определенного масштаба. Исходя из этого масштаба расстояние между профилями должна составлять на отчетной карте съемки 1 см. Например, при масштабе 1:50000 необходимо иметь Δy = 500 м. Шаг наблюдений обычно в 2 раза меньше межпрофильного расстояния. В рассматриваемом примере Δx = 250 м.

При непрерывной регистрации характеристик физического поля (на борту самолета, вертолета, судна, автомобиля) в силу инерционности регистрирующей аппаратуры условным шагом съемки можно

считать величину $\Delta x = V \cdot \tau$, учитывающую скорость и постоянную времени движущегося измерителя.

В условиях резкой изменчивости свойств геологической среды масштаб геофизической съемки может быть принят вдвое крупнее, чем для геологического картирования.

При проектировании поисковых геофизических работ, проводимых, как правило, в масштабах 1:10000 и 1:5000, необходимо предвидеть вид и величину ожидаемых аномалий от объектов, представляющих первоочередной интерес для решения поисковой задачи. Этими объектами могут быть не только тела полезных ископаемых, но и связанные с ними генетически и пространственно малые интрузии, разрывные нарушения, ореолы околорудных изменений и др., имеющие обычно меньшую контрастность по аномальным признакам. Представления о форме и размерах аномальных зон искомых геологических объектов формируются на основе анализа ФГМ.

Сеть наблюдений выбирают такой, чтобы в контур аномальной зоны попал хотя бы один профиль с двумя точками наблюдений, на которых аномальный объект будет зафиксирован.

Существует возможность теоретически оценить вероятность P обнаружения объекта [1, 6]. Обычно форму аномальной зоны объекта отождествляют с эллипсом, оси которого равны L (длина зоны) и B (ширина зоны). В наиболее простом случае вероятность пересечения аномальной зоны одним из профилей, ориентированных перпендикулярно большой оси (т.е. вкрест простирания), когда $L \leq \Delta y$, выражается простой дробью: $P = L / \Delta y$. При неизвестной ориентировке такого объекта вероятность его пересечения определяется классическим решением «задачи об игле», сформулированной монахом Ж. Бюффоном еще в 18 веке:

$$P = 2L/\pi\,\Delta y. \qquad (7)$$

Можно отметить, что только за счет неизвестной ориентировки объекта поисков по отношению к направлению съемочных профилей при $L=\Delta y$ вероятность его обнаружения снижается с 1 до $P = 2/\pi = 0{,}637$.

Если известен угол β отклонения профилей от нормали к простиранию объекта в радианах, то при $L \leq \Delta y$ вероятность обнаружения объекта равна:

$$P = L \sin\beta / (\beta \Delta y). \qquad (8)$$

Полезно заметить, что для значения $\beta = \pm \pi/6$ величина $\frac{\sin\beta}{\beta} = 0{,}955$, т.е. мало отличается от 1. Поэтому на практике достаточно чтобы сеть профилей была ориентирована только приближенно правильно. Если это условие соблюдается, то при $\Delta y = 0{,}9\,L$ пересечение аномальной зоны профилем гарантированно.

Общее решение задачи о вероятности пересечения контура аномалии профилем при произвольном значении угла β, когда $L / \Delta y \geq 1$, приводит к выражению:

$$\mathrm{P} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{L}{\Delta y} + \cos^{-1}\frac{\Delta y}{L} - \sqrt{\left(\frac{L}{\Delta y}\right)^2 - 1}\right]. \qquad (9)$$

При $L = \Delta y$ снова получаем $\mathrm{P} = 2/\pi = 0{,}637$.

Общее выражение для вероятности пересечения аномальной зоны эллиптического вида с осями L, В и периметром П при произвольной ориентировке профилей съемки имеет вид:

$$\mathrm{P} = \Pi/\pi\Delta y, \qquad (10)$$

$$\Pi = \frac{\pi}{2}\left[1{,}5(L + \mathrm{B}) - \sqrt{L \cdot B}\right]. \qquad (11)$$

Две точки профиля, пересекающего аномальную зону, окажутся внутри ее контура, если $\Delta x \leq \mathrm{B}/2$.

Для более скурпулезной оценки вероятности P имеется серия номограмм, учитывающих возможные варианты соотношения размеров контура аномалии, параметров сети и углов β [1, 3].

Оценим для примера вероятность обнаружения аномальной зоны размером 200×50 м сетью с ячейкой 100×25 м при неизвестном простирании оси зоны. В этом случае L = 200 м, Δy = 100 м. и по формуле (9) получим P = 0,83. С использованием специальных номограмм можно установить, что объект будет обнаружен с вероятностью P = 1, если отклонение профилей от нормали к простиранию объекта будет меньше 60°.

Следующая задача может быть сформулирована в виде задания. Необходимо определить какого минимального размера аномальная зона с неизвестным простиранием может быть обнаружена с помощью сети размером в м 250×50. Для решения найдем величину периметра зоны П из формулы (10) для случая P = 1, полагая В = 100 м и Δy = 250 м. Эта величина равна П = 785 м. Решая уравнение для П от-

носительно L (методом подбора или составив квадратное уравнение относительно $\sqrt{L}$), получим искомую величину: L = 360 м.

На стадиях детальных поисков и разведки сеть наблюдений бывает самой разнообразной. Помимо прямоугольной сети при детальных съемках возможно проложение радиальных и криволинейных профилей, допустимо отклонения от равномерности изучения площади съемки. Повышенная детальность принята для интерпретационных профилей, шаг наблюдений на которых допустимо устанавливать таким, чтобы выявить характерные точки измеряемого физического поля (экстремумы, точки перегиба, перехода через ноль и т. п.). Обычно пункты наблюдения сгущают в районе эпицентра аномалий и разряжают на участках выхода в нормальное поле. В результате детальных работ необходимо установить конфигурацию, размеры аномалии, ее амплитуду и другие особенности, которые затем используют в процессе интерпретации.

Шаг наблюдений подбирают с таким расчетом, чтобы при аппроксимации поля между двумя фиксированными точками прямой линией отклонение фактических его значений от этой прямой не превышало 5 % средней величины значений поля. Например, при съемке естественного поля с шагом 20 м амплитуда аномалии составила 58 мВ, откуда следует, что среднее значение аномалии на профиле приблизительно равно 29 мВ. Между двумя рядовыми точками съемки, на которых получены значения 27 и 39 мВ, выполнено промежуточное измерение с результатом 36 мВ. Разница между последним значением и средней величиной рядовых измерений равна 3 мВ, что составляет 10,3 % от среднего значения аномалии. Следовательно, необходимо сгустить сеть, уменьшив шаг наблюдений по крайней мере в 2 раза.

8. ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И ИХ КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Конечным результатом геофизических съемок является выявление и геологическое истолкование тех неоднородностей геологической среды, которые по размерам и контрастности свойств способны создавать ощутимые аномалии.

Важнейшими проблемами анализа измеренных полей являются исключение или ослабление их составляющих, связанных с влиянием

геологических помех, разделение выделенных на фоне помех аномалий на региональные и локальные (возможно нескольких порядков). Необходимы классификация выделенных аномалий на перспективные (отвечающие целевым задачам) и неперспективные, выполнение качественной и количественной интерпретация аномалий и определение их геологической природы.

Выделение аномалий

При анализе поля А принимается аддитивная (суммирующая) его модель, согласно которой существующая в рядовой точке функциональная величина аномалии $A_а$ имеет региональную $A_{ар}$, локальную $A_{ал}$ и случайную $A_{ас}$ (помеха) составляющие:

$$A_а = A_{ар} + A_{ал} + A_{ас}. \quad (12)$$

Помехи обычно отождествляют со случайными функциями и эта их особенность позволяет применять специальные методы математической фильтрации, основанные на исключении составляющих поля с высокочастотным спектром и некоррелируемостью характеристик поля по площади. Простейшей операцией по ослаблению случайной составляющей является сглаживание в окне из нескольких точек. Если взять 5 точек и применить полином третьей степени, то формула для сглаживания измеренных значений А в рядовой точке с номером *i* с использованием данных по соседним точкам имеет вид:

$$A_{сгл}(i)=0{,}486A(i)+0{,}343\{A(i+1)+A(i-1)\}-0{,}086\{A(i+2)+A(i-2)\}. \quad (13)$$

Процедура сглаживания приводит к уменьшению дисперсии фона главным образом за счет снижения геологической погрешности при незначительном изменении неслучайной аномалии. В результате уменьшения общей среднеквадратической погрешности наблюдений увеличивается контрастность аномалии и, следовательно, улучшаются условия для ее выделения.

Примером могут служить результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости, приводимые на рис. 21. Согласно исходным измерениям (график *а*), диапазон колебаний фоновых значений $\eta_к$ составляет 0,5-2,5 % , а среднее значение равно 1,5 %. Выше верхнего предела фона зафиксированы 2 точки со значениями около 3 %. Полагая, что аномальные значения в этих точках равны 1,5 %, а среднеквадратичное отклонение для фона составляет 0,5 %, вычисленный показатель контрастности аномалии (см. (6)) для данных условий равен 3.

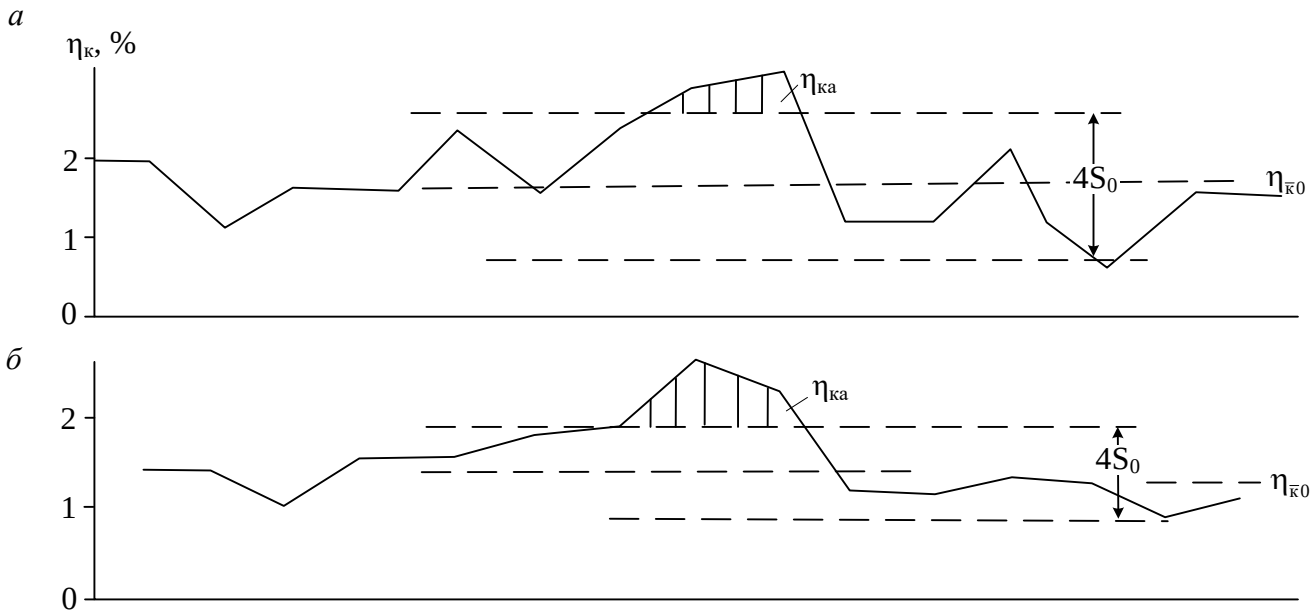


Рис. 21. Результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости $\eta_к$ по данным измеренного поля (график *а*) и после его сглаживания (график *б*)

После сглаживания исходного графика $\eta_к$ по 5 точкам (график *б*), фоновые значения находятся в пределах 1-2 % при среднем 1,5 %, а аномальные значения остаются близкими к 3 %. Заметно, что на сглаженном графике аномалия проявляется более отчетливо. Этот эффект подтверждается и вычислением показателя контрастности, который становится близким к 6, то есть увеличивается в 2 раза относительно первоначального значения.

В инструкциях по ряду полевых методов к достоверной (надежность 99,5 %) аномалии относятся такие совокупности значений в не менее чем 3 точках, для каждого из которых выполняется условие: $A_a/S_0 \geq 3$. Если за аномалию принимать значения в 2 раза превышающее среднеквадратическую погрешность фона, то есть $A_a/S_0 \geq 2$, то надежность выделения такой аномалии согласно теории вероятности составляет 95 %. Оценивая надежность с точки зрения энергетического отношения аномалия/помеха, получим для последнего условия 82 %.

При выделении геофизических аномалий в общем случае проводится разделение региональных и локальных аномалий, отличающихся областью их проявления. Наилучшие условия разделения этих аномалий существуют в случае резкого их различия по размерам и интенсивности. В зависимости от целевой задачи подавляется либо одна либо другая составляющая геофизического поля. Нередко инте-

рес представляют как региональные аномалии, отражающие крупные структурные особенности геологической среды, так и локальные аномалии, которые связаны с влиянием мелких геологических тел, например рудных залежей.

Выделение региональных аномалий проводится на основе сглаживания наблюденного поля, предполагающего существенное ослабление влияния помех и локальных объектов. К основным способам выделения региональных аномалий относятся следующие.

1. Усреднение поля вдоль профилей или по площади. Часто используют поточечное усреднение в пределах круга определенного радиуса.

2. Тренд-анализ, под которым понимается процедура аппроксимации эмпирических данных вполне определенными функциями, аргументами которых являются координаты точек наблюдения. Аппроксимация может осуществляться с помощью алгебраических полиномов, как правило, невысоких степеней. При кусочно-полиноминальной аппроксимации применяют сплайн-функции, представляющие кубические полиномы для ограниченных участков площади.

3. Пересчет в верхнее полупространство позволяет существенно ослабить влияние небольших геологических неоднородностей и упростить процесс интерпретации региональной аномалии, которая проявляется более отчетливо.

Локальные аномалии определяют после исключения из измеренного поля региональной составляющей. Для того чтобы подчеркнуть существование локальной аномалии осуществляют пересчет измеренного поля в нижнее полупространство и вычисляют производные высшего порядка. Это позволяет усилить высокочастотную составляющую, связанную с геологическими телами небольших размеров.

Пример совместного проявления региональной и локальных аномалий в поле силы тяжести в районе медноколчеданного месторождения показан на рис. 22. На фоне плавного почти линейного уменьшения поля Δg в краевой части крупного массива базальтов (основные породы с повышенной плотностью) фиксируется локальная отрицательная аномалия (условно первого порядка), связанная с субинтрузией гранитоидов (породы кислого состава менее плотные по сравнению с базальтами). Региональная аномалия от массива ба-

зальтов показана на рис. 22, *б* штриховой линией ($\Delta g_р$). В висячем боку субинтрузии гранитоидов внутри зоны гидротермально измененных пород (метасоматиты с минимальной для разреза плотностью) находится рудная залежь (с максимальной для разреза плотностью). Ореол метасоматитов создает отрицательную аномалию (условно второго порядка), на фоне которой проявляется локальная положительная аномалия (условно третьего порядка) от рудной залежи. Для наглядности все три локальные аномалии (1, 2, 3) изображены отдельно на рис. 22, *в*.

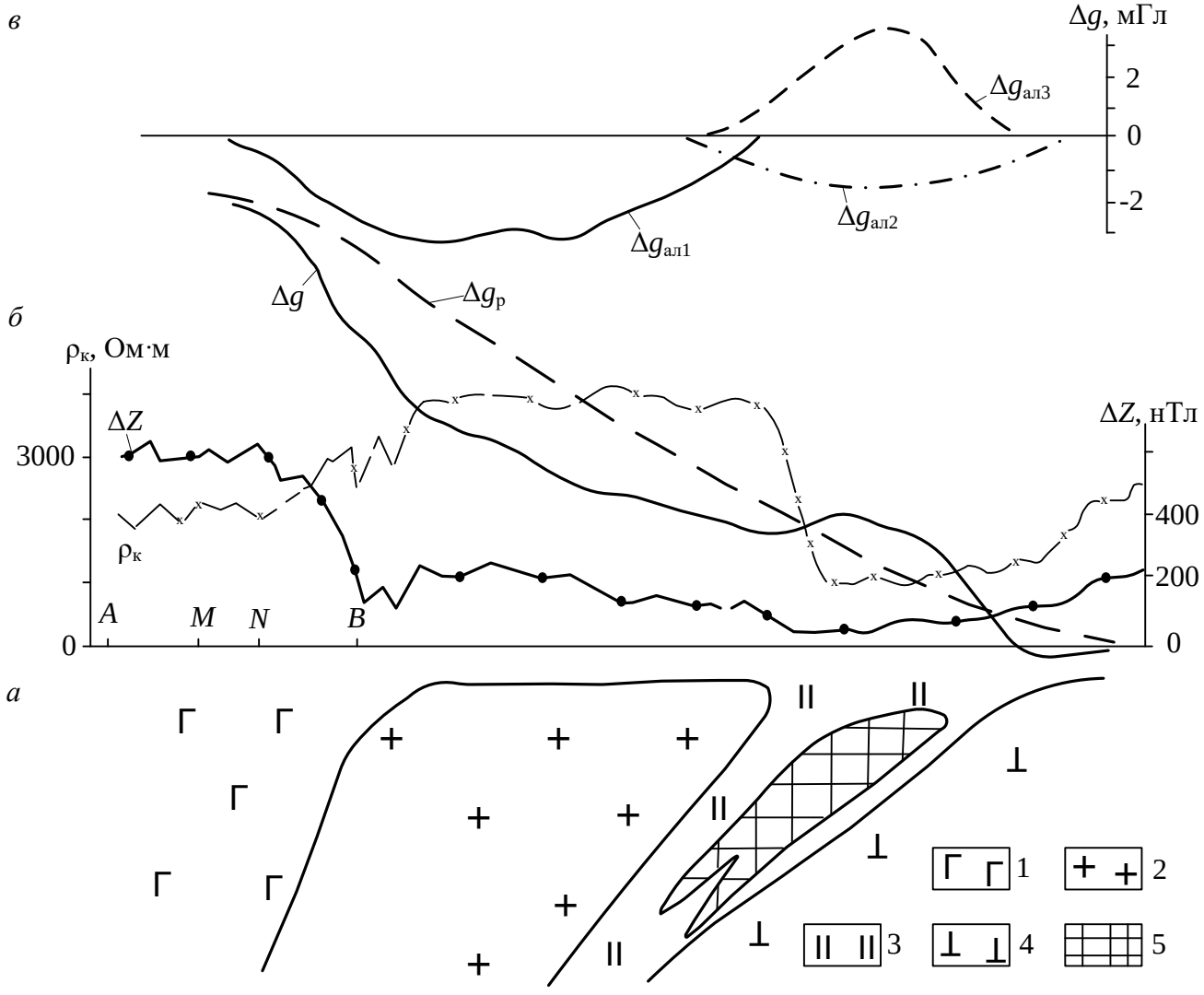


Рис. 22. Пример сложной аномалии силы тяжести, которая в совокупности с данными магниторазведки и электроразведки отражает присутствие в разрезе медноколчеданного месторождения комплекса геологических тел:
а – геологический разрез: 1 – базальты; 2 – гранитоиды; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – туфы; 5 – руды; *б* – графики измеренного поля силы тяжести (Δg) и его регионального фона($\Delta g_р$), магнитного поля (ΔZ), удельного сопротивления ($\rho_к$); *в* – графики локальных аномалий поля силы тяжести, отражающие присутствие в раз-

резе субинтрузии ($\Delta g_{ал1}$), зоны гидротермально измененных пород ($\Delta g_{ал2}$), рудной залежи ($\Delta g_{ал3}$)

О существовании нескольких локальных аномалий поля силы тяжести можно предположить по данным других геофизических методов. Так присутствие субинтрузии гранитоидов, которым соответствует обширная отрицательная локальная аномалия гравитационного поля (1), отчетливо фиксируется ступенчатым понижением магнитного поля относительно уровня, характерного для базальтов, и увеличением в этом районе кажущегося сопротивления. Выход к дневной поверхности зоны гидротермально измененных пород, которому соответствует локальная отрицательная аномалия (2), совпадает с областью минимальных значений магнитного поля и кажущегося сопротивления, что является довольно типичным признаком для ореолов околорудных изменений. Существование в этой же области слабой локальной положительной аномалии силы тяжести (3) является следствием влияния рудных масс с аномально высокой плотностью. Слабость влияния рудной залежи связано с тем, что над ее верхней кромкой залегают низкоплотные породы (метасоматиты и кора выветривания), а также эффектом наложения положительной аномалии от руды на более обширную отрицательную аномалию от зоны гидротермалитов.

Необходимо подчеркнуть важность разделения аномалий силы тяжести, поскольку результаты их количественной интерпретации позволяют сформировать представления о пространственных контурах геологических тел, создающих эти аномалии. Данные же большинства других методов имеют значение для картирования неоднородностей в верхней части разреза.

Принципы комплексной интерпретации геофизических аномалий

Цель комплексной интерпретации данных различных методов состоит в том, чтобы выполнить классификацию геологических объектов, создающих достоверные аномалии, уделяя первоочередное внимание перспективным аномалиям.

Использование эталонных аномалий. Комплексная интерпретация может осуществляться с помощью как аналитических, так и вероятностно-статистических методов. Первым этапом интерпретации является построение рабочих (интерпретационных) физико-геологических моделей, которые позволяют задать некоторые априорные рамки и сузить неопределенность решения обратной задачи, выбрав

наиболее вероятные варианты. В аналитических способах комплексной интерпретации геологические объекты и их параметры для ФГМ задаются в виде начальных приближений итерационного цикла решения обратной задачи. Интерпретатор должен представлять вид типичных аномалий, характерных для некоторого класса моделей геологических тел, подходящих для условий изучаемой среды. При этом учитываются ограничения, которые вытекают из представлений об априорной ФГМ и данных, полученных применявшимися геологическими (результаты проходки канав, шурфов, скважин), геохимическими и геофизическими методами.

Примером приемов решения обратных задач на участке проведения съемки методом заряда служит геологический разрез, построенный на основе комплексной интерпретации аномального поля заряда с учетом данных измерений магнитного поля и проходки скважин глубокого и картировочного бурения (рис. 5, *б*). При интерпретации аномального поля заряда использован набор некоторых теоретических аномалий электрического потенциала над типовыми объектами геологических разрезов рудных полей, приведенный на рис. 23.

Пособием по интерпретации локальных аномалий комплекса геофизических методов может служить таблица-схема, представляющая подборку аномалий от тел простейшей геометрической формы с аналитическими выражениями для вычислений полей в некоторых характерных точках (приложение 1).

Традиционными являются приемы визуального сопоставления аномалий, выделяемых по различным измеренным физическим полям. При анализе аномалий ориентируются по совпадению определенных признаков на установлении меры аналогии исследуемых и эталонных объектов. В качестве эталонов используют геологические тела, детально изученные как геофизическими, так и геологическими методами, подтвержденные бурением и горными выработками.

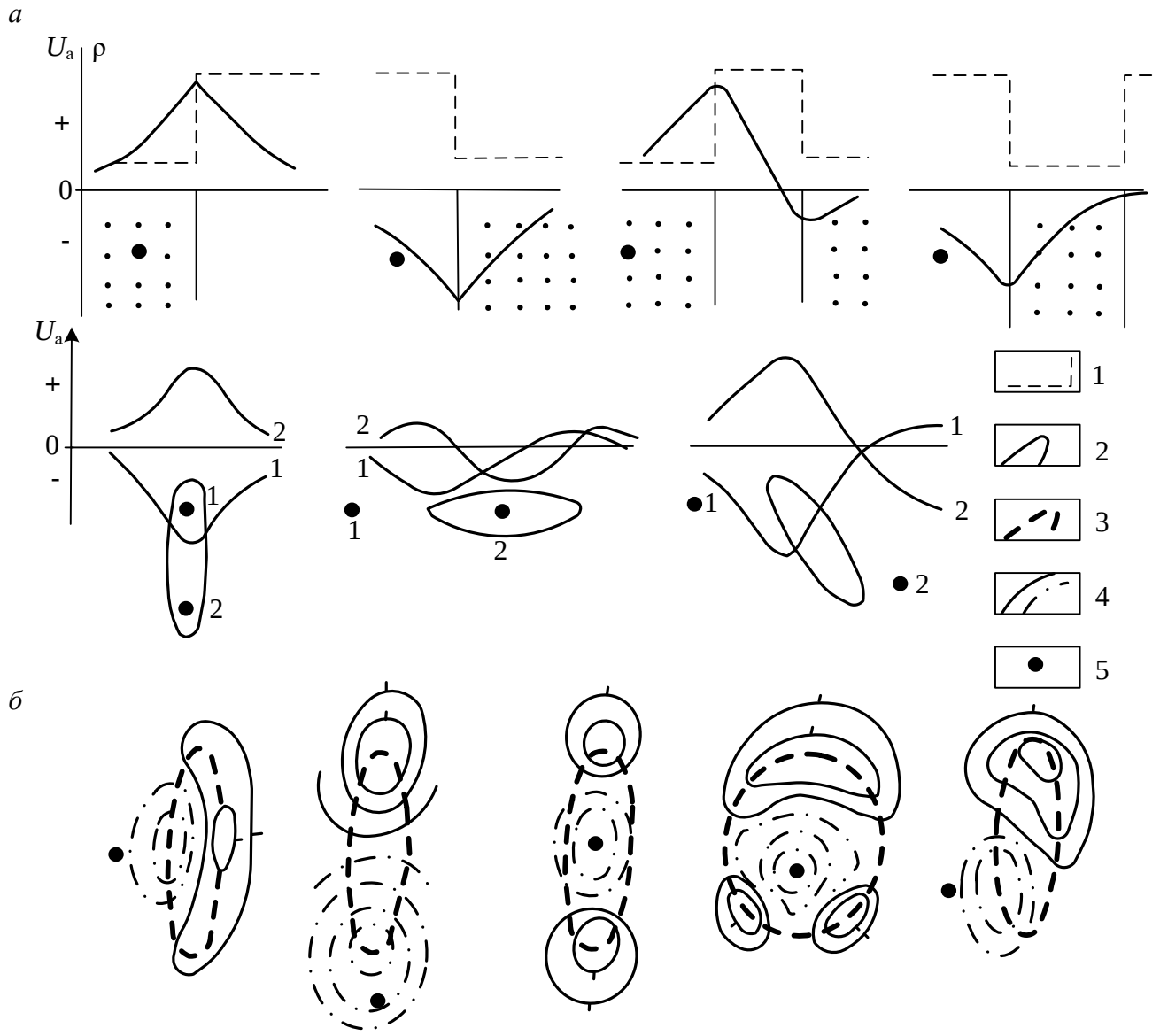


Рис. 23. Графики (*а*) и планы изолиний (*б*) аномального электрического потенциала (U_a) поля заряда в присутствии пластовых и сфероидальных тел:
1 – графики удельного сопротивления (ρ) слоистых сред; 2, 3 – погруженный сфероидальный проводник в разрезе (2) и плане (3); 4 – изолинии положительного (сплошные линии) и отрицательного (штрихпунктирные линии) аномального потенциала; 5 – заряд

Фактически задача подготовки к комплексной интерпретации сводится к созданию физико-геологических моделей типовых объектов-эталонов. Например, составляется сводка признаков, по которым могут быть откартированы тектонические нарушения. К их признакам обычно относят: отрицательные аномалии гравитационного, магнитного полей, кажущегося сопротивления, связанные с разрыхлением пород в зоне нарушения, увеличением над ним коры выветривания. В ряде случаев нарушениям в плане соответствуют узкие полосы

резкого изменения поля, связанного с различием свойств двух блоков, разделенных разрывом. Для тектонических нарушений характерна линейность в проявлении отмеченных признаков. В качестве эталонных аномалий гравитационных и магнитных полей, фиксирующих проявления разрывной тектоники, может служить подборка, приведенная на рис. 24. Признаки разрывов выражаются в сгущении изолиний, смене ориентировки большой группы локальных аномалий, повторяющимся изломом аномалий, наличием линейно вытянутых аномалий большой протяженности, смещении осей локальных аномалий или характерные деформации изолиний в определенном направлении. Все эти особенности аномальных полей можно видеть на рис. 24.

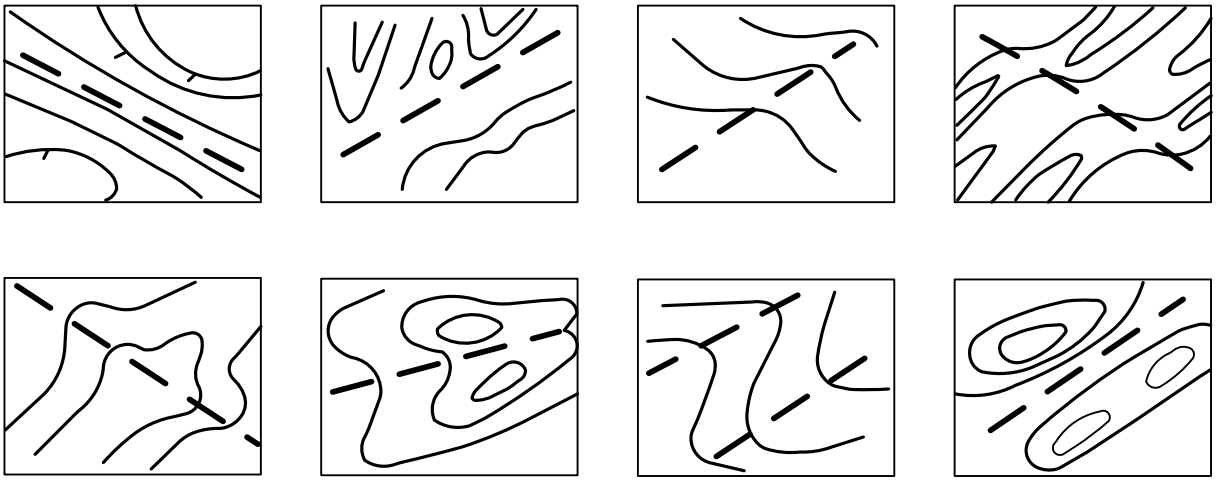


Рис.24. Примеры проявления тектонических нарушений (штриховые линии) в аномальных гравитационном и магнитном полях (по Г. Г. Кассину)

Разработаны специальные программы, позволяющие выделять и классифицировать комплексные аномалии в автоматическом режиме на основе некоторого набора эталонных образов типовых объектов. Результатом компьютерных способов распознавания образов являются прогнозные карты изученной территории с разбиением на несколько классов, характеризующихся различным набором признаков и имеющие определенное геологическое значение [2].

Одним из путей решения задачи диагноза геофизических аномалий является вычисление функций комплексного показателя (ФКП) θ, интегрировано обобщающих результаты измерений несколькими методами одновременно. Они служат для: 1) свертывания информации, полученной несколькими методами исследования; 2) приведения

наблюдений к уровню нормального поля; 3) выделения слабых аномалий; 4) разделения выявленных комплексных аномалий на перспективные и неперспективные [1].

Техника вычисления ФКП рассмотрена в разделах 3 и 5, а пример ее использования рассмотрен на материалах, послуживших основой при построении ФГМ для поисков месторождений урана (см. раздел 3, рис. 6). Полезность определения ФКП продемонстрирована также на рис 19.

Приводимое на рис. 6 раздельное вычисление ФКП для данных гравимагнитных исследований и поисковых методов электроразведки и радиометрии связано с различием задач, которые ставятся перед этими комплексами. С помощью первых методов можно картировать выходы к дневной поверхности потенциально рудоносных сланцев и подстилающих карбонатных отложений. Как показано на рис.6, эта задача решается успешно и выявляемые аномалии ФКП (Θ_1) являются перспективными и локализуют участки для детальных поисков.

В случае применения поискового комплекса обнаружение аномалий ФКП для этого комплекса (Θ_2), подобной той, которая изображена на рис. 6, позволяет отнести ее к перспективным и рассматривать как признак присутствия уранового оруденения.

Количественная комплексная интерпретация наиболее эффективна для сильных аномалий, то есть при больших значениях показателей контрастности. Данные совокупности методов позволяют более надежно установить возможные ограничения, которые необходимо учитывать при применении интерпретационного аппарата математической физики. Наиболее успешным является метод подбора параметров аномалиеобразующих объектов, позволяющий получить решение прямой задачи, соответствующее эмпирическим данным об изучаемых полях.

Прежде чем перейти к построению детальной ФГМ осуществляется экспресс-интерпретация полей путем оценочных вычислений ожидаемых для модели аномалий и их сопоставления с реально измеренными полями на участке работ. Для этих целей можно воспользоваться уже упоминавшейся выше таблицей-схемой аномалий для тел правильной геометрической формы. Таблица дает представление о виде геофизических аномалий и их амплитуде при известных форме, размерах, условиях залегания и аномальности физических (плотност-

ных, магнитных, электрических) свойств большой группы объектов, моделирующих геологические тела.

Способ подбора. Для уточнения форм аномалиеобразующих геологических тел используется способ подбора, который предполагает отыскание их границ по полям для отдельных методов с учетом ограничений, вытекающих из данных других методов. Например, при интерпретации сложных гравиметровых аномалий по профилю необходимо предварительно определится с уровнем региональной аномалии и создающей ее неоднородностью, а также с количеством и видом локальных аномалий, подлежащих количественной интерпретации. Существенную помощь при этом могут оказать данные других геофизических методов. Например, как это показано по материалам рис. 22, можно обосновать возможность выделения локальных аномалий от нескольких объектов и высказать предположения об их геологической природе.

По данным электрозондирования часто удается установить положение кровли коренных горных пород и вероятные физические характеристики скрытых под наносами геологических тел (на основе корреляционных зависимостей между электрическими и другими физическими свойствами). Часто по аномалиям методов естественного электрического поля и вызванной поляризации проявляются участки рассеянной сульфидной минерализации, типичные для околорудноизмененных пород. Пример подобных аномалий приведен в разделе 3 на рис. 10. Естественно, что имеет смысл геометризовать в пространстве эти участки, данные о выходах к дневной поверхности которых устанавливаются электроразведкой. Особый интерес представляет задача определить положение в пространстве рудных залежей, признаки существования которых заметны в аномальном поле силы тяжести и могут проявиться по данным специальных методов, например метода переходных процессов.

Для реализации способа подбора в рамках каждого метода разработаны разнообразные программы. Например, применительно к методу ВЭЗ разработан набор программ, как для ручной, так и машинной (компьютерной) интерпретации. Подбор сводится к сопоставлению наблюденных кривых с теоретически рассчитанными графиками для горизонтально-слоистой среды с известными параметрами (удельное сопротивление и мощность) слоев. Для снижения неоднозначности интерпретации используют данные о сопротивлении не-

которых опорных слоев или точно установленных границах на отдельных участках работ. Наиболее достоверные данные получают при наличии скважин.

Классификация геологических объектов на принципе самообучения

Этот принцип позволяет по совокупности геофизических данных разделить площадь исследований на некоторое число однородных (по совокупности признаков) классов (объектов), причем их геологическая природа может до определенного времени оставаться неясной. Для установления природы таких классов требуется выполнить геологические исследования (анализ проб, проходка скважин и др.), однако объем заверочных исследований невелик. Достаточно проанализировать данные по типичным представителям классов.

Примером реализации такого подхода могут служить материалы петрофизической классификации и картирования горных пород по данным измерений физических полей в скважинах [10]. Так при разведке медноколчеданного месторождения Осеннее на Южном Урале было установлено, что рудовмещающая структура представляет сложно построенную вулкано-тектоническую депрессию, осложненную крутопадающими и межслоевыми нарушениями. Всего в разрезе месторождения выделялось около десятка разновидностей литотипов [11], представлявших сложный комплекс геологических тел. Определенные сложности возникали с установлением наименования пород, подвергшихся гидротермальному метасоматозу, а также с определением роли субвулканических липарито-дацитов в формировании месторождения.

Для классификации геологических объектов на месторождении были привлечены данные каротажа естественной радиоактивности (ГК), которые, как известно, наиболее тесно связаны с литологическими особенностями горных пород. По этому свойству легче всего определить тип породы, подвергшейся эпигенетическим преобразованиям и принявшей черты метаморфизованной разновидности. Построенная по результатам статистической обработки диаграмм ГК, по методике изложенной в разделе 3, дифференциальная кривая распределения радиоактивности изображена на рис. 25. Из этой кривой следует, что все рудовмещающие породы можно разделить на три статистически однородные совокупности (А, Б, В) и определить границы

между ними (9 и 25 мкР/час) для построения петрорадиоактивных разрезов.

Результаты анализа химического состава показали, что радиоактивность рудовмещающих пород возрастает пропорционально увеличению кремнезема (47,6, 57,3, 65,7 %) и калия (1,9, 3,3, 4,8 % K_2O) и положительно коррелируется с повышением кислотности пород, которая в свою очередь отражает последовательность поступления в изучаемый массив магматических инъекций. Построенные петрофизические разрезы значительно проще геологических разрезов и наглядно отражают структурные особенности и историю формирования месторождения. Для этого на петрорадиоактивный разрез наложены контуры зон, отражающие степень сульфидной минерализации пород, установленные в результате статистической обработки диаграмм метода электродных потенциалов (МЭП). Данные метода фиксируют степень рудной концентрации (>0,65, 0,65-0,3,<0,ш3), соответствующей уровню сплошных руд (класс Р), сильно измененных и сульфидизированных пород (класс С) и слабо измененных околорудными процессами участков разреза.

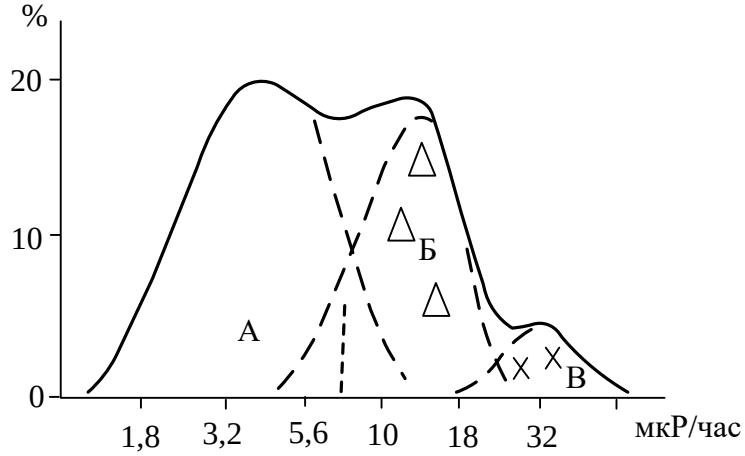


Рис. 25. Дифференциальная кривая распределения гамма-активности рудовмещающих пород медноколчеданного месторождения Осеннее

Результаты классификации геологических объектов по данным измерений двух геофизических полей на принципах самообучения с помощью статистического способа позволили построить петрофизические разрезы, на которых породы разделены на обоснованное огра-

ниченное число классов, отражающих главные черты рудоносной структуры.

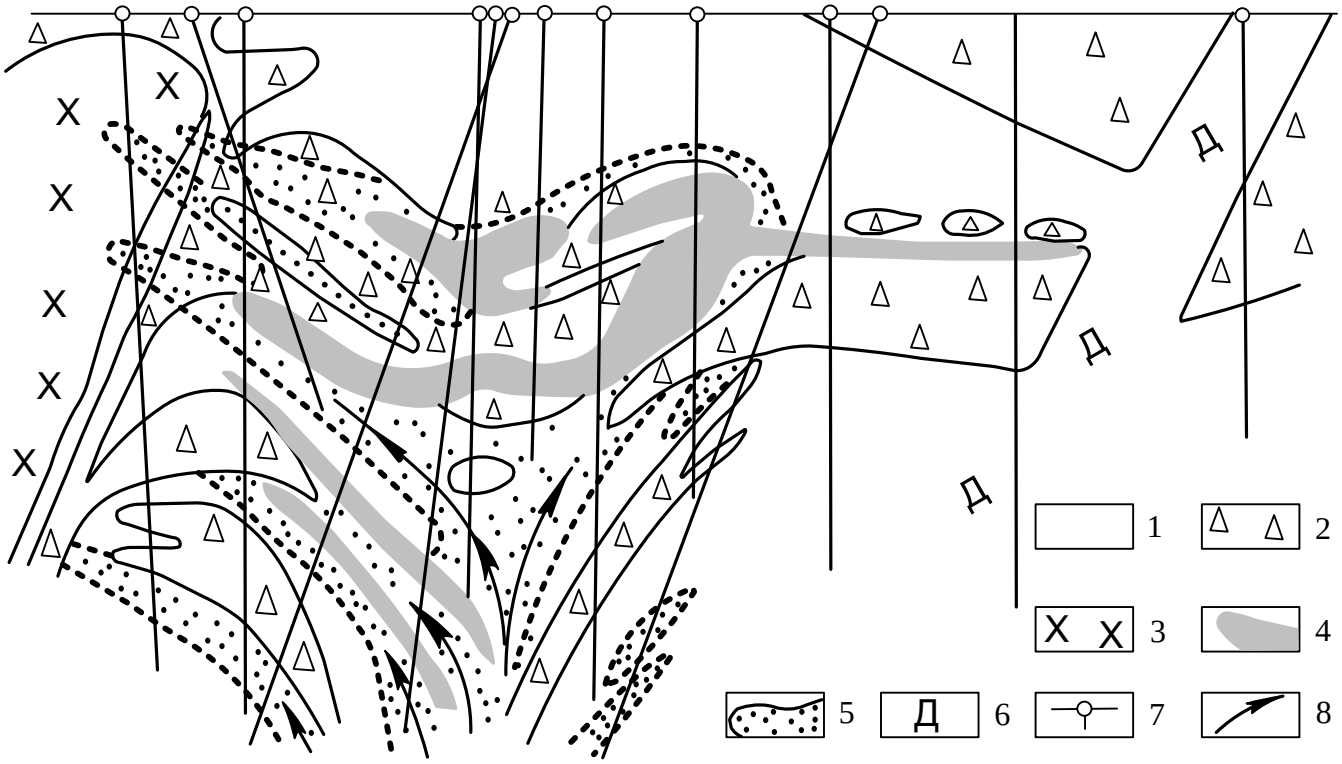


Рис. 26. Петрофизический разрез (классификация по двум геофизическим полям: ГК и МЭП) медноколчеданного месторождения Осеннее:
1, 2, 3 – петрорадиоактивные группы пород А, Б и В, соответственно; 4 – сплошные руды (класс Р); 5 – богатая сульфидная минерализация (класс С); 6 – дайка основных пород; 7 – скважины; 8 – предполагаемые пути движения рудоносных растворов

Один из таких разрезов приведен на рис. 26. Из него видно, что в массив, сложенный комплексом вулканогенных пород основного состава (комплекс пород класса А с низкой радиоактивностью) на завершающей стадии активного вулканизма по субвертикальной тектонической зоне внедрились субинтрузии кислых пород (липарито-дацитовые порфиры – класса Б по радиоактивности). Эти породы имеют силлобразную форму с корнями, уходящими на глубину. На заключительной стадия вулканизма ранее формированная толща была прорвана интрузией (сиенит-диориты класса В с наибольшей радиоактивностью). Поступление рудоносных растворов происходило по каналу уже пройденному субинтрузиями липарит-дацитов, кото-

рые перекрыли сквозную тектоническую зону, образовав экранированную структуру с участками повышенной проницаемости на контактах кислых и основных пород. Эти участки брекчирования и явились теми самыми резервуарами, в которых накапливались руообразующие смеси.

Контуры зон, отражающих классы пород с высокой и умеренной степенью сульфидной минерализации (классы Р и С, соответственно) фиксируют картину проникновения рудных растворов с глубоких горизонтов вверх по узкому субвертикальному каналу. Очевидно, что в верхней части разреза происходило распределение этих растворов по экранированным пологим участкам брекчирования на контактах вулканогенных и субинрузивных пород, где увеличивалась концентрация рудного вещества. По данным комплексной интерпретации геофизических полей медноколчеданное месторождение Осеннее является типичным представителем корневых рудных полей II рода, геологические модели которых рассмотрены в разделе 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. *Вахромеев Г. С.* Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1978. 152 с.

2. *Комплексирование методов разведочной геофизики*: Справочник геофизика / под ред. В. В. Бродового, А. А. Никитина М.: Недра, 1984, 384 с.

3. *Никитин А. А., Хмелевской В. К.* Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. Тверь: ООО Изд. «ГЕРС», 2004, 294 с.

Дополнительной

4. *Виноградов А. М.* Геополя и колчеданы Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004, 187 с.

5. *Геофизические методы разведки рудных месторождений*. / В. В. Бродовой, В. Д. Борцов, Л. Е. Подгорная и др. под ред. В. В. Бродового. М.: Недра, 1990, 296 с.

6. *Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых* / под ред. П. В. Вишневского, Г. С. Вахромеева, И. Л. Шаманского. М.: Недра, 1984, 223 с.

7. *Геофизические поиски рудных месторождений* / под ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Каз.ФВИРГ, 1970, 610 с.

8. *Кассин Г. Г.* Геофизические методы на региональном этапе геологоразведочного процесса. Екатеринбург: УГГА, 1996, 104 с.

9. *Рудные месторождения СССР* / под ред. В. И. Смирнова. Том 3. М.: Недра, 1974, 392 с.

10. *Сапожников В. М.* Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород. / Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 11-19.

11. *Сапожников В. М., Голиков Ю. В., Берг Л. Я.* Опыт объемного петрофизического картирования рудовмещающих пород месторождения Осеннее / Методика поисков и разведки глубокозалегаю-

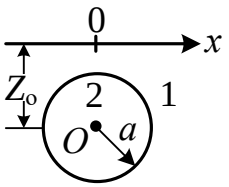
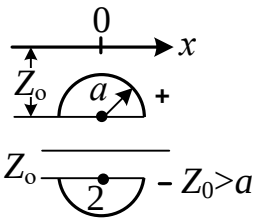
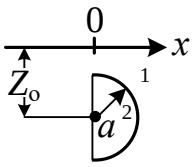
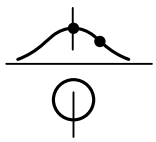
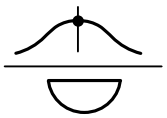
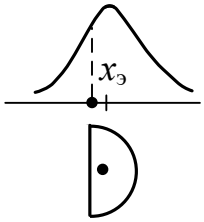
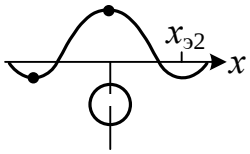
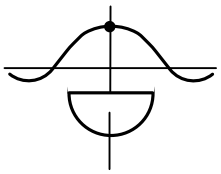
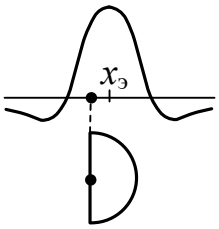
щих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 20-27.

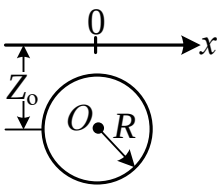
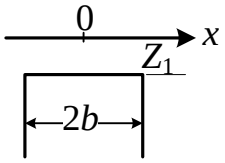
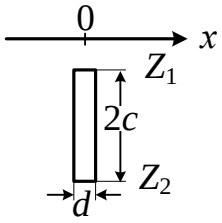
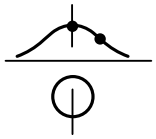
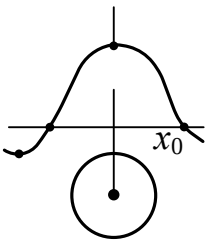
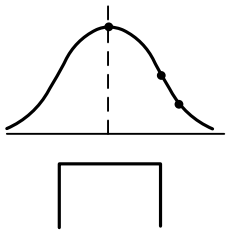
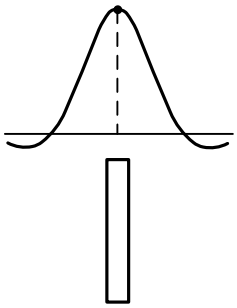
12. *Сапожников В. М., Шевченко В. Г.* Теория и методика электроразведки в градиентных средах. Л.: Недра, 1992, 135 с.

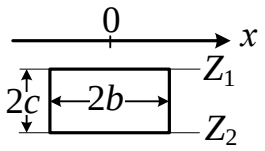
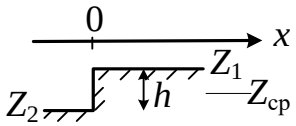
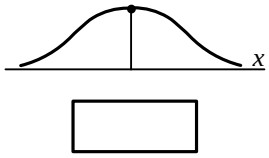
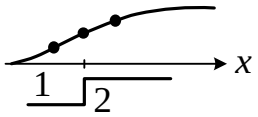
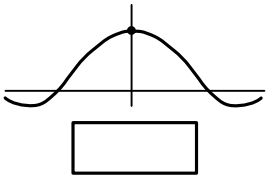
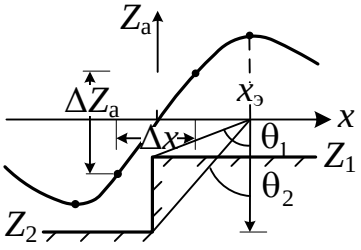
13. *Электроразведка рудных полей методом заряда* / М. В. Семенов, В. М. Сапожников, М. М. Авдевич, Ю. В. Голиков. Л.: Недра, 1984, 216 с.

Приложение 1

Сводка формул для вычисления значений аномальных полей в характерных точках

1		Ш	$ПШ_Г$	$ПШ_В$
2	разрез			
3	$\Delta g_a^э$	$\frac{4G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_{1/2} = 0{,}77Z_0$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}\left(1 \pm \frac{3a}{4Z_0}\right)$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
4	$Z_a^э$	$\frac{8\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_0 = \pm Z_0\sqrt{2}$ $x_{э2} = \pm 2Z_0$ $Z_{a2}^э = -0{,}036Z_a^э$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}\left(1 \pm \frac{9a}{8Z_0}\right)$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
5	$\rho_к^э$ $\eta_к^э$	$\frac{2к_1\rho_1 a^3}{Z_0^3}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)a^3}{5\mu+1}\times$ $\times\left(\frac{1}{Z_0^3} \pm \frac{9a}{8Z_0^4}\right)$	$\frac{\rho_1(\mu-1)a^3}{(\mu+2)Z_0^3}$

1		Ц	МП	ТП
2	разрез			
3	$\Delta g_a^э$	$\frac{2G\pi R^2\Delta\sigma}{Z_0^2}$ $x_{1/2} = \pm Z_0$ 	$\pm\infty$	$2Gd\Delta\sigma\ln\frac{Z_2}{Z_1}$ $x_{1/2} = \pm\sqrt{Z_1 Z_2}$ 
4	$Z_a^э$	$\frac{2\pi R^2 J}{Z_0^2}$ $x_{\min} = \pm Z_0\sqrt{3}$ $x_0 = \pm Z_0$ 	$4J\,\mathrm{arctg}\frac{b}{Z_1}$ $x_{1/2} = \pm\sqrt{b^2 + Z_1^2}$ $x_{1/4} = \pm\sqrt{x_{1/2}^2 + 2Z_1\lvert x_{1/2}\rvert}$ 	$2J\,d\left(\frac{1}{Z_1} - \frac{1}{Z_2}\right)$ 
5	$\rho_к^э$ $\eta_к^э$	$\frac{2\kappa\rho_1 R^2}{Z_0^2}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)}{\pi}\mathrm{arctg}\frac{b}{Z_1}$	$\frac{\rho_1 d}{\pi m}\left(\frac{1}{Z_1} - \frac{1}{Z_2}\right)$ $m = \frac{\mu}{\mu-1} - \frac{c}{b+c}$ $d = 2b$

1		Пр	У
2	разрез		
3	$\Delta g_{\text{а}}^{\text{э}}$	$2G\Delta\sigma\left\{b\ln\frac{Z_2^2+b^2}{Z_1^2+b^2}+\right.$ $\left.+2(f_2-f_1)\right\}$ $f_i = Z_i \operatorname{arctg}\frac{b}{Z_i}$ 	$2\pi Gh\Delta\sigma$ $x_{\text{э}} \to \infty$ $x_{1/2} = 0$ $x_0 \to -\infty$ $x_{1/4} = -Z_{\text{ср}}$ $x_{3/4} = Z_{\text{ср}}$ 
4	$Z_{\text{а}}^{\text{э}}$	$4J\left(\operatorname{arctg}\frac{Z_2}{b}-\operatorname{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ 	$Z_{\text{а}} = 2J(\theta_1-\theta_2)$ $\theta_{1,2} = \operatorname{arctg}\frac{x}{Z_{1,2}}$ $x_0 = 0$ $x_{\text{э}} = \pm\sqrt{Z_1 Z_2}$ $x=0 \quad \Delta Z_{\text{а}}/\Delta x = \frac{2J}{Z_1}$ 
5	$\rho_{\text{к}}^{\text{э}}$ $\eta_{\text{к}}^{\text{э}}$	$\frac{2\rho_1}{\pi m}\left(\operatorname{arctg}\frac{Z_2}{b}-\operatorname{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ $m = \frac{\mu}{\mu-1}-\frac{c}{b+c}$	$\rho_{\text{ка}} = \rho_1\frac{(\mu-1)(\theta_1-\theta_2)}{\mu\pi}$ при $\rho_2 = \rho_1$ $\eta_{\text{ка}} = (\eta_2-\eta_1)\frac{\theta_1-\theta_2}{\pi}$

Пояснения

Аномальные геофизические поля: гравитационное (Δg_a), магнитное (Z_a), удельное сопротивление ($\rho_{ка}$) и поляризуемость ($\eta_{ка}$).

Тела: шар (Ш), полушары вертикальный ($ПШ_В$) и горизонтальный ($ПШ_Г$), цилиндр (Ц), мощный пласт (МП), тонкий пласт (ТП), прямоугольная прямая призма (ПР), вертикальный уступ (У).

Размерности: линейные величины в м, $\Delta\sigma$-избыточная плотность в г/см^3; $G=6.67\cdot10^3$ внесистемный вариант гравитационной постоянной, позволяющий получать Δg_a в мГл.; $\Delta\chi$-избыточная магнитная восприимчивость в системе СГС ($\Delta\chi_{СГС}=4\pi\cdot\Delta\chi_{СИ}$); J_i -интенсивность вертикального намагничивания: $J_i=\Delta\chi\cdot Z_н$; $Z_н$ – нормальное поле Земли: $Z_н\approx0.5$ Э; 1 Эрстед=10^5 нТл.; artg x в радианах; ρ_1 и ρ_2 – удельное сопротивление вмещающей среды и тела, соответственно; $\mu=\rho_2/\rho_1$; $K=(\mu-1)/(\mu+1)$; $K_1=(\mu-1)/(2\mu+1)$; $\rho_к=\rho_1+\rho_{ка}$; $\eta_к=1-\rho_к/\rho_к^*$; $\rho_1^*=\rho_1/(1-\eta_1)$; $\rho_2^*=\rho_2/(1-\eta_2)$; $\mu^*=\rho_2^*/\rho_1^*$; $\rho_к^*=\rho_1^*+\rho_{ка}^*$; $\eta_{ка}=\eta_к-\eta_1$; графики $\rho_{ка}$ и $\eta_{ка}$ подобны графикам $Z_а$; $x_э=0$ (кроме уступа).

Учебное издание

Сапожников Вадим Михайлович

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Учебное пособие

Редактор _____
Компьютерная верстка Г. А. Косаревой,

Подписано в печать _____ 2019 г. Бумага писчая. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____. Тираж . Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А. Г. Талалай

Комплексная интерпретация геофизических данных

Методические указания
по выполнению индивидуальных заданий курса
«Комплексная интерпретация
геофизических данных»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации
Геофизические методы исследования скважин

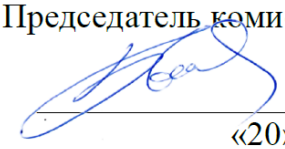
Екатеринбург
2020

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Комплексная интерпретация геофизических данных

Методические указания
по выполнению индивидуальных заданий курса
«Комплексная интерпретация
геофизических данных»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации
Геофизические методы исследования скважин

Методические указания по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Комплексная интерпретация геофизических данных» для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, специализации «Геофизические методы исследования скважин»

Методические указания содержат работы по построению физико-геологической модели объекта поисков, статистической обработке результатов измерений физических свойств горных пород, оценке геологической информативности геофизических методов, выделению аномалий на фоне нормальных значений геофизических полей и комплексной интерпретации геофизических наблюдений с и пользованием функции комплексного показателя.

Методические указания предназначены для студентов 21.05.03 Технология геологической разведки, специализации Геофизические методы исследования скважин.

Составитель: А. Г. Талалай, проф., д.г.-м.н.

I. Работа № I. ПОСТРОЕНИЕ АПРИОРНОЙ ФГМ ОБЪЕКТА ПОИСКОВ

Под физико-геологической моделью объекта геофизических поисков (ФГМ) понимается абстрактное возмущающее тело, обобщенные размеры, форма и физические свойства которого с той или иной степенью приближения аппроксимируют реальные геологические и рудные образования, подлежащие обнаружению. ФГМ является обобщенным, типизированным и формализованным представлением о целой группе подобных геологических объектов. Это абстракция типа "описание-обобщение".

От реальных геологических объектов ФГМ отличается определенными размерами и обобщенной формой. Сложные по морфологии и вещественному составу геологические объекты заменяются сочетанием геометрически правильных объектов (сфера, цилиндр) с именными статистически усредненными физическими свойствами. Это позволяет использовать простые алгоритмы для решения обратных задач на ЭВМ.

ФГМ характеризуется следующими свойствами: носит вероятностный характер, обусловленный стокастичностью используемых для ее построения геологических и петрофизических данных, отличается простотой расчета ожидаемых физических полей, характеризуется схематизированным и обобщенным характером полей, которые отражают наиболее существенные черты данного класса объектов.

Физико-геологическая модель должна соответствовать целям и задачам геофизических исследований, типу района поисков и условиям ведения работ, отражать состояние геолого-геофизической изученности данного класса объектов, отличаться по физическим свойствам от вмещающих пород и характеризоваться оптимальной сложностью.

Отличительной чертой ФГМ является ее полиморфность в отношении физических свойств и геометрических параметров объекта. Количественные параметры ФГМ зависят от факторов, которые можно объединить в три группы: физические свойства пород и руд (x_1 , x_2 , x_3 ...), размеры объекта (y_1 , y_2 , y_3 ...) и его форма (z_1 , z_2 , z_3 ...). Например, крутопадающая линза сплошных медноколчеданных руд является в одно и то же время проводящим электрический ток пластом с положительной избыточной плотностью, сжатым эллипсоидом с повышенной поляризуемостью, генератором естественного электрического поля, источником формирования ореолов рассеяния меди и т.д. Пример физико-геологической модели линзы медноколчеданных руд (по данным Г.С.Вахромеева) приведен на рис.I.

Построение априорной ФГМ объекта поисков производится на базе справочных и литературных источников. При построении используются принципы аналогии, корреляции и обратной связи.

Принцип аналогии состоит в том, что выбор модели объекта исследований производится на основе данных, полученных на объектах со сходными геолого-геофизическими условиями. Как показывает практика ФГМ, разработанная на примере месторождения определенного класса крупности по запасам (например, среднего), может быть справедлива для аналогичных месторождений других классов крупности (например, мелких) при условии кратного изменения размеров, формы и физических свойств модели и сохранения общих условий залегания месторождений (мощность рыхлых отложений, перекрывающих и подстилающих пород).

Принцип корреляции состоит в использовании регрессионных зависимостей параметров и физических свойств объекта исследований от наблюдаемых физических полей и от других физических свойств того же объекта. Например, при разведке железорудных месторождений можно использовать связь между магнитной восприимчивостью и содержанием железа в руде. Установлены связи между скоростью распространения продольных волн и плотностью, между электрическим сопротивлением, скоростью продольных волн и плотностью, между плотностью и магнитной восприимчивостью. Например, Н.Н.Пузыревым установлена взаимосвязь скорости и плотности в виде $V = 6\sigma - 11$, связь эта может меняться в зависимости от возраста горных пород и района исследований. В поверженных породах по мере роста основности возрастают плотность и намагниченность. Породы осадочного происхождения характеризуются обратной зависимостью плотности, электрического сопротивления и скорости распространения упругих волн от пористости и т.д.

Принцип обратной связи заключается в использовании результатов обработки и интерпретации материалов экспериментальных полевых исследований с целью совершенствования ФГМ. Полученные в результате интерпретации геофизических измерений геологические выводы используются для уточнения физических свойств, размеров и формы

объекта исследований.

Физические свойства пород и руд определяются путем исследования образцов, по данным каротажа, параметрических измерений в обнажениях и по итогам интерпретации полевых геофизических методов. Данные о физических свойствах должны характеризовать все необходимые физические параметры, обеспечивающие построение комплексной ФГМ, обеспечивать по точности измерений решение поставленной геологической задачи, иметь пространственную и геологическую привязку, быть представительными для статистической обработки, т.е. замеры должны быть массовыми и достаточно представительными. Сведения о размерах и форме объекта поисков получают при его разведке.

I.I. Задание

Построить априорную физико-геологическую модель объекта геофизических поисков, используя для этой цели основные принципы построения ФГМ, материалы преддипломной производственной практики, справочники по физическим свойствам и литературные источники.

I.2 Содержание работы

Составить объяснительную записку, в которой сформулировать геологические задачи, которые ставятся перед геофизическими исследованиями в районе работ, например: поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, опробование горных пород и руд, определение процентного содержания полезных компонентов, уточнение геологического разреза по измерениям в скважинах и т.д. Разделить геологические задачи на основные и дополнительные. Перечислить материалы, на основе которых строится ФГМ.

Оценить геологические условия региона и участка работ. Дать характеристику горных пород региона и участка, проанализировать размеры и условия залегания геологических объектов, вещественный состав и наличие минералов, оказывающих влияние на физические свойства горных пород района. Охарактеризовать предполагаемый объект поисков: его физические свойства, размеры, форму, глубину залегания рудных тел, запасы руды, наличие перекрывающих и подстилающих горных пород, глубины и типы коры выветривания, мощность поверхностных рыхлых отложений, наличие ореолов рассеяния элементов, рельеф местности и т.д.

Проанализировать результаты предшествующих геофизических работ в районе и аналогичных районах, физические и геологические предпосылки, характер аномальных и нормального полей, установить регрессионные зависимости параметров и физических свойств объекта поисков от наблюдаемых физических полей и других физических свойств того же объекта. Обработать и проинтерпретировать данные предшествующих экспериментальных геофизических исследований с целью уточнения физических свойств, размеров и формы объекта исследований.

На основании имеющихся материалов и литературных источников составить априорную физико-геологическую модель объекта поисков. Результаты работы обобщить и представить в форме таблицы I.

I.3. Материалы и оборудование

I.3.I. Геологические карты региона и участка работ

Результаты геофизических исследований района работ: графики измерений физических полей по профилям, карты физических полей с нанесенными изолиниями равных значений потенциала поля, карты векторов напряженностей физических полей, вариационные кривые и гистограммы физических свойств горных пород и руд, корреляционные зависимости физических свойств от вещественного состава горных пород и другие материалы производственных практик.

I.3.2 Микрокалькулятор типа Б3-2I

I.4. Порядок выполнения работы

I) Ознакомиться с понятием физико-геологической модели по настоящей инструкции.

2) Сформулировать геологические задачи.

3) Оценить физические свойства, размеры и форму предполагаемого объекта поисков.

4) Проанализировать, обработать и проинтерпретировать результаты предшествующих геофизических работ в районе. Рассчитать вариационные кривые и построить гистограммы физических свойств объекта поисков.

5. Составить объяснительную записку.

I.5. Содержание отчета

В отчете следует сформулировать геологические задачи, стоящие перед геофизическими методами в районе работ.

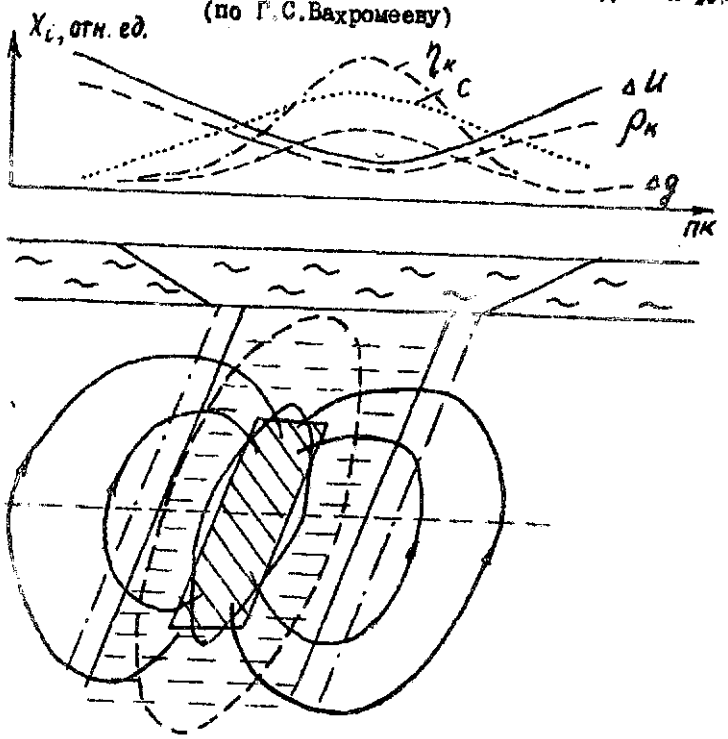
Кратко указать значение выбранного объектом поисков полезного ископаемого для народного хозяйства. Дать определение ФПМ. Привести сведения о физических свойствах, размерах и форме искомого объекта. Отчет должен содержать графики исходных данных, необходимых для построения ФПМ, результаты измерений геофизических полей по профилям или в плане, расчетные или взятые из справочников таблицы физических свойств и итоговое, схематизированное обобщенное описание комплексной полиморфной ФПМ в виде таблицы I.

Таблица I

Параметры физико-геологической модели объекта геофизических поисков

Физические свойства ($x_1, x_2, x_3 \ldots$)	Размеры ($y_1, y_2, y_3 \ldots$)	Форма ($z_1, z_2, z_3 \ldots$)
x_1 Магнитная восприимчивость $\varkappa$	y_1 Горизонтальная мощность $2b$	z_1 Показатель горизонтальной протяженности $L/2b$
x_2 Остаточная намагниченность J_n	y_2 Глубина залегания верхней кромки h	z_2 Показатель вертикальной протяженности $\frac{H-h}{h}$
x_3 Избыточная плотность $\Delta\sigma$	y_3 Глубина залегания нижней кромки H	z_3 Показатель погруженности $\frac{H-h}{2b}$
x_4 Удельное электрическое сопротивление ρ	y_4 Длина по простиранию L	
x_5 Поляризуемость η	y_5 Угол падения α	
x_6 Естественная радиоактивность J	y_6 Радиус (для изометрических тел) R	z_4 Показатель изометричности $c:d:\ell$
x_7 Скорость распространения упругих колебаний v	y_7 Размеры по большой c, средней d и малой ℓ осям (для трехмерных объектов)	. . . .
x_8 Длина замедления быстрых нейтронов L_s	y_8 Расстояние до центра H_u	
x_9 Длина диффузии тепловых нейтронов L	. . . . .	
. . . . .		

Физико-геологическая модель линзы медноколчеданных руд (по Г.С.Вахромееву)



1 – 2 – 3 – 4 – 5

6 – 7 – 8 – 9

1 – контур промышленной залежи, 2 – наклонный пласт положительной избыточной плотности, 3 – зона повышенной проводимости, 4 – контур сжатого эллипсоида повышенной поляризуемости, 5 – первичный ореол рассеяния элементов, 6 – вторичный ореол рассеяния элементов, 7 – токовые линии естественного электрического поля, 8 – уровень подземных вод, 9 – современный элювио-делювий

Δg – аномалия силы тяжести, $\rho_к$ – аномалия электрического сопротивления, $\eta_к$ – аномалия вызванной поляризации, ΔU – аномалия естественного поля, C – аномалия содержания меди.

Рис. I

2. РАБОТА № 2

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Необходимым и достаточным условием успешного применения геофизических методов является заметная дифференциация (контрастность) физических свойств горных пород в районе работ. Физические свойства пород зависят от многих геологических факторов: возраста, глубины залегания, метаморфизма горных пород, степени их выветренности, пористости, влагонасыщенности и т.д. По этой причине частные значения физических параметров обычно колеблются в широких пределах. Для получения достаточной представительности результатов необходимо, чтобы измерения носили массовый характер. Для каждой разновидности горных пород желательно иметь не менее 30–50 определений.

Перечень основных физических свойств горных пород и руд приведен в таблице 2.

Физические свойства определяются обычно путем исследований на образцах, в естественном залегании (параметрические замеры), по данным каротажа и по итогам интерпретации результатов полевых геофизических наблюдений соответствующими методами. Образцы берут из коренных обнажений пород и руд, по возможности слабо затронутых вторичными процессами. Места отбора образцов равномерно распределяют по площади и отмечают на карте с целью изучения закономерностей изменения физических параметров по площади исследований.

Изменчивость физических свойств пород и руд обусловливает широкое использование статистических методов обработки с целью компактного представления данных о физических свойствах, выявления в общей совокупности самостоятельных групп пород, определения доверительных границ изменения физических параметров горных пород, установления корреляционной зависимости между различными физическими параметрами и изучения зависимости физических свойств от состава и структуры горных пород.

2.I. Эмпирические распределения

Множество значений физического признака, обладающего свойствами случайной величины, будем называть статистической совокупностью. В статистической совокупности значения физического признака располагаются в порядке их получения и записи при изучении геологического

Таблица 2

Перечень основных физических свойств горных пород

Метод	Физический параметр	Единица измерения
Магниторазведка	I. Магнитная восприимчивость, $\varkappa$	$СИ_{\varkappa}$
	2. Остаточная намагниченность,	А/м
Гравиразведка	I. Плотность, σ	г/см^3
Электроразведка	I. Удельное электрическое сопротивление, ρ	Ом м
	2. Поляризуемость, η	%
Сейсморазведка	I. Скорость распространения упругих колебаний, v	м/с
	2. Модуль Юнга	кг/м^2
Радиометрия	I. Естественная радиоактивность, J	мкр/ч
	2. Коэффициент радиоактивного равновесия, Krp	
	3. Коэффициент эманирования, α	%
Ядерная геофизика	I. Длина замедления быстрых нейтронов, L_s	см
	2. Длина диффузии тепловых нейтронов, L_α	см
	3. Время замедления быстрых нейтронов, τ_s	с
	4. Время жизни тепловых нейтронов, τ , c	с

объекта поисков. Для удобства математической обработки производят упорядочение статистической совокупности, которое заключается в том, что отдельные значения признака располагают в возрастающем или убывающем порядке. Упорядочение совокупностей непрерывных физических признаков производится методом группирования и последующего построения вариационных рядов и соответствующих им графиков

Упорядочение непрерывных физических признаков производится в интервальной форме. Число интервалов K можно оценить по формуле $K = \sqrt{N}$, где N – объем совокупности равный общему числу наблюдений. Для выбора ширины интервала группирования используется формула Стреджесса:

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3{,}3 \lg N}$$

где x_{max} , x_{min} – максимальное и минимальное значение физического параметра x . Вычисленные значения Δx округляют до удобной величины.

Вариационный ряд статистической совокупности непрерывного физического признака представляется в виде таблицы, в которой в возрастающем порядке перечислены интервалы или середины интервалов группирования и соответствующие им частоты и частости встречи физических признаков. Перед составлением таблицы вычисляют значения середины интервалов $x_i = \frac{a_i + b_i}{2}$, где a_i и b_i , соответственно, начало и конец i -го интервала группирования, подсчитывают частоту n_i и частость $\omega_i = n_i/N$ попадания физического признака на i -ый интервал группирования. Пример построения вариационного ряда приведен в таблице 3. Проверка правильности построения вариационного ряда осуществляется по формулам $\sum_{i=1}^{K} n_i = N$, $\sum_{i=1}^{K} \omega_i = 1$.

Для компактного и наглядного представления результатов массовых измерений физических свойств горных пород вариационный ряд может быть представлен графически в виде полигона, гистограммы или кумуляты.

Полигоном называется ломаный график, построенный в декартовой системе координат. По оси абсцисс откладываются в возрастающем порядке середины интервалов группирования физического параметра, а по оси ординат соответствующие им частоты или частости.

Таблица 3

Вариационный ряд распределения плотности перидотитов Бакеновского месторождения хризотил-асбеста

Номера интервалов,	Границы интервалов, г/см³	Середина интервалов x_i, г/см³	Частоты n_i	Частости $\omega_i = \frac{n_i}{N}$
I	2,5-2,7	2,6	2	0,04
2	2,7-2,9	2,8	6	[illegible]
3	2,9-3,I	3,0	8	0,16
4	3,I-3,3	3,2	I3	0,26
5	3,3-3,5	3,4	II	0,22
6	3,5-3,7	3,6	7	0,14

$N = 50$ $\quad \sum_{i=1}^{\kappa} \omega_i = 1,0$

Гистограммой вариационного ряда называется ступенчатый график, состоящий из серии примыкающих друг к другу прямоугольников с основаниями на оси абсцисс, равными ширине интервала группирования, и высотами по оси ординат, соответствующими значениями частот или частостей.

Кумулятой называют монотонно растущий график, который образуется, если по оси абсцисс откладывать середины интервалов группирования, а по оси ординат сумму частот или частостей с нарастающим итогом.

Пример построения полигона, гистограммы и кумуляты вариационного ряда распределения плотности перидотитов Бакеновского месторождения хризотил-асбеста приведен на рис. 2.

Наряду с построением вариационных рядов и графиков при обработке результатов измерений физических свойств вычисляются статистические характеристики положения (средняя величина, медиана, мода) и рассеяния результатов измерений (дисперсия, стандарт, коэффициент вариации, показатель асимметрии и показатель эксцесса).

Средняя величина $\bar{x}$ характеризует массовый уровень физического признака в статистической совокупности. Для вариационных рядов совокупностей с непрерывным или дискретным признаком средняя величина признака подсчитывается, как средняя взвешенная по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{\kappa} n_i x_i}{N} \qquad (2.I)$$

где κ - число интервалов или отдельных значений вариант.

Медиана (Me) - значение признака, соответствующее середине упорядоченного вариационного ряда. Медиана делит упорядоченную совокупность физических признаков на две равные по объему части.

Мода (Mo) - значение признака, которое характеризуется наибольшей частотой или частостью и совпадает с абциссой максимума вариационной кривой.

Статистические характеристики рассеяния указывают на степень и характер концентрации или рассеяния отдельных значений физического параметра относительно характеристик положения.

Дисперсия (S^2) - это средний квадрат отклонений отдельных вариант от средней величины. Для упорядоченной в вариационный р

Пример построения полигона (а), гистограммы (б) и кумуляты (в) вариационного ряда распределения плотности перидотитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста

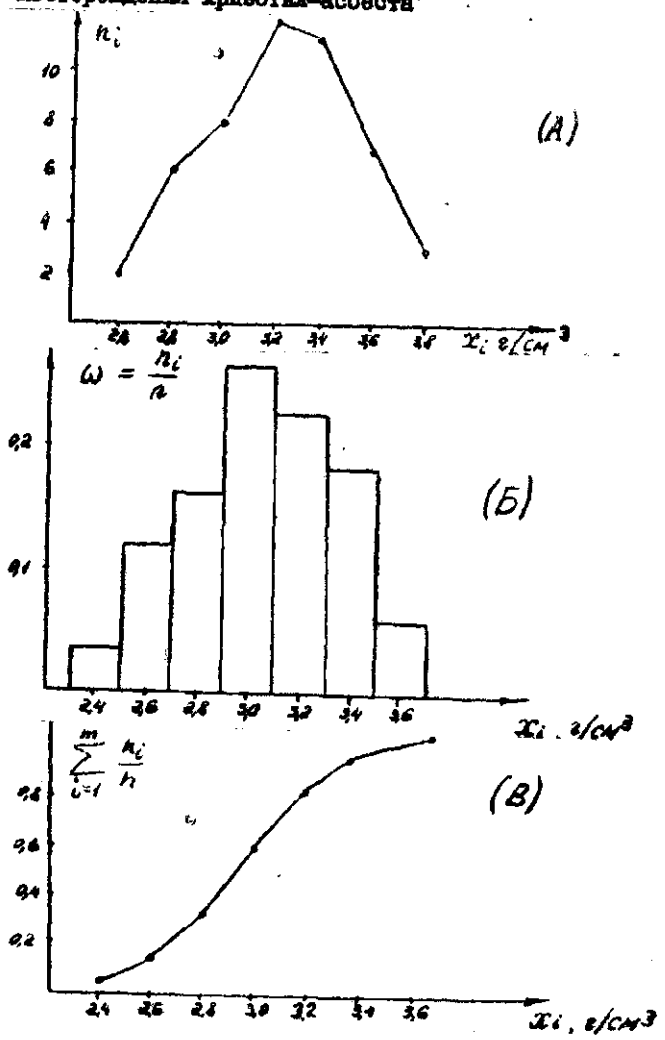


Рис. 2

совокупности дисперсия вычисляется по формуле:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - \bar{x})^2}{N} \qquad (2)$$

Стандарт (S) – среднее квадратическое отклонение, равное корню квадратному из дисперсии.

Коэффициент вариации (V) – это относительное среднее квадратическое отклонение, которое подсчитывается в процентах по формуле:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \qquad (3)$$

Показатель ассиметрии (А) указывает на характер и степень симметрии вариационной кривой. Для упорядоченной совокупности показатель асимметрии вычисляется по формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - \bar{x})^3}{S^3 N} \qquad (4)$$

Показатель эксцесса (Э) характеризует степень крутовершинности вариационной кривой по отношению к вершине кривой нормального распределения. Для вариационных рядов эксцесс вычисляют по формуле:

$$Э = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - \bar{x})^4}{S^4 N} - 3 \qquad (5)$$

Все статистические характеристики, кроме моды и медианы, вычисляются методом моментов. Статистический момент порядка ρ подсчитывается по формуле:

$$M_\rho = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i \sigma_i^{\rho}}{N} \qquad (6)$$

где $\sigma_i = x_i - x_0$ – отклонение i-го интервала вариационного ряда x_i от интервала x_0, принятого за начало отсчета, k – количество интервалов вариационного ряда.

Различают начальные m_ρ и центральные μ_ρ моменты вариационного ряда. Момент называется начальным, если начало отсчета совпадает с нулем $x_0 = 0$ и центральным, если начало отсчета

совпадает со средней величиной ряда $x_0 = \bar{x}$.

Первый начальный момент совпадает со средним взвешенным значением измеряемого физического параметра. Второй центральный момент совпадает с дисперсией значений физического параметра.

Частные от деления центральных моментов ρ -го порядка на стандарт в ρ -ой степени называют основными моментами $\beta_\rho = \mu_\rho / S^\rho$. Третий основной момент β_3 соответствует показателю ассиметрии, четвертый основной момент β_4 используется для вычисления показателя эксцесса.

Вычисление статистических характеристик выполняется в следующем порядке. После составления вариационного ряда и занесения данных в таблицу вычисляют условные варианты, нормированные к ширине интервала группирования, по формуле:

$$\delta_i = \frac{x_i - x_0}{\Delta x} \qquad (7)$$

где x_i - середина i -го интервала вариационного ряда, x_0 - принятое начало отсчёта, Δx - ширина интервала группирования.

Вычисляют начальные моменты условных вариант m_ρ^δ до четвертого порядка включительно по формуле:

$$m_\rho^\delta = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_i \delta_i^\rho}{N} \quad (\rho = 1,2,3,4) \qquad (8)$$

Вычисляют среднее значение физического параметра по формуле:

$$\bar{x} = x_0 + \Delta x\, m_1^\delta \qquad (9)$$

Вычисляют второй, третий и четвертый центральные моменты, используя формулы их связи с начальными моментами условных вариант

$$\mu_2 = (\Delta x)^2 \left[m_2^\delta - (m_1^\delta)^2 \right] = S^2 \qquad (10)$$

$$\mu_3 = (\Delta x)^3 \left[m_3^\delta - 3 m_2^\delta m_1^\delta + 2 (m_1^\delta)^3 \right] \qquad (11)$$

$$\mu_4 = (\Delta x)^4 \left[m_4^\delta - 4 m_3^\delta m_1^\delta + 6 m_2^\delta (m_1^\delta)^2 - 3 (m_1^\delta)^4 \right] \qquad (12)$$

Вычисляют стандарт S , показатель асимметрии A и показатель эксцесса $Э$ по формулам:

$$S = \sqrt{\mu_2} \qquad (13)$$

$$A = \beta_3 = \frac{\mu_3}{S^3} \qquad (14)$$

$$Э = \beta_4 - 3 = \frac{\mu_4}{S^4} - 3 \qquad (15)$$

Для вариационного ряда нормального распределения $\beta_4 = 3$. Поэтому при оценке крутовершинности вариационной кривой из основного момента четвертой степени вариационной кривой вычитается основной момент четвертой степени нормального распределения физического параметра.

Вычисляют коэффициент вариации по формуле (2.3).

Подсчитывают значение моды по формуле:

$$M_0 = x_{M_0} + \Delta x \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \right) \qquad (16)$$

где x_{M_0} - начало интервала группирования, в котором находится мода, Δx - ширина интервала, Δ_1 - разность частот модального и домодального интервала, Δ_2 - разность частот модального и послемодального интервала.

Подсчитывается значение медианы по формуле:

$$Me = x_{Me} + \Delta x \left(\frac{\frac{N}{2} - n_{sMe}}{n_{Me}} \right) \qquad (17)$$

где x_{Me} - начало медианного интервала, N - объем совокупности, n_{sMe} - накопленная частота интервала, предшествующего медианному, n_{Me} - частота медианного интервала. Под накопленной частотой для данного интервала понимается сумма частот, начиная с первого интервала, включая данный. Накопленная частота подсчитывается по формуле:

$$n_{s_i} = \sum_{i=1}^{S_i} n_i \qquad (18)$$

Накопленные частоты служат основой для построения интегрального полигона (кумуляты) вариационного ряда.

Пример. Вычислить статистические характеристики вариационного ряда распределения содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гайского месторождения меди.

Составим таблицу для вычисления исходных данных.

Таблица 4

Вариационный ряд распределения содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гая

	Интервалы, %	n_i	x_i	δ_i	$n_i\delta_i$	$n_i\delta_i^2$	$n_i\delta_i^3$	$n_i\delta_i^4$
I	38–40	6	39	–2	–I2	+24	–48	+96
2	40–42	I0	4I	–I	–I0	+I0	–I0	+I0
3	42–44	I5	43	0	0	0	0	0
4	44–46	I3	45	+I	+I3	+I3	+I3	+I3
5	46–48	6	47	+2	+I2	+24	+48	+96
	Сумма	50			+3	+7I	+3	+2I5

Выберем место нуля совпадающим с серединой центрального интервала $x_0 = 43$ и подсчитаем условие варианты δ_i. Проверка правильности вычисления исходных данных производится по формуле Шарлье:

$$\sum_{i=1}^{k} n_i(\delta_i+1)^4 = \sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i^4 + 4\sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i^3 + 6\sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i^2 + 4\sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i + \sum_{i=1}^{k} n_i \qquad (9)$$

При правильной подготовке данных формула Шарлье обращается в тождество. Вычисляем начальные моменты ряда в условных вариантах

$$m_1^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i}{N} = \frac{+3}{50} = +0{,}06$$

$$m_2^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i^2}{N} = \frac{+71}{50} = +1{,}42$$

$$m_3^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i^3}{N} = \frac{+3}{50} = +0{,}06$$

$$m_4^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i^4}{N} = \frac{+215}{50} = +4{,}3$$

Вычисляем среднее значение содержания железа $\bar{x}$, стандарт S и центральные моменты μ_3 и μ_4, используя формулы связи начальных моментов в условных вариантах m_p^{δ} с центральными моментами μ_p.

$$\bar{x} = m_1 = x_0 + \Delta x\, m_1^{\delta} = 43 + 2(+0{,}06) = 43{,}12\%\ Fe$$

$$S = \sqrt{\mu_2} = \Delta x\sqrt{m_2^{\delta} - (m_1^{\delta})^2} = 2\sqrt{1{,}42 - (0{,}06)^2} = 2{,}38\%\ Fe$$

$$\mu_3 = (\Delta x)^3\left[m_3^{\delta} - 3m_2^{\delta}m_1^{\delta} + 2(m_1^{\delta})^3\right] =$$

$$= 2^3\left[+0{,}06 - 3(+1{,}42)(+0{,}06) + 2(+0{,}06)^3\right] = -1{,}56$$

$$\mu_4 = (\Delta x)^4\left[m_4^{\delta} - 4m_3^{\delta}m_1^{\delta} + 6m_2^{\delta}(m_1^{\delta})^2 - 3(m_1^{\delta})^4\right] =$$

$$= 2^4\left[+4{,}3 - 4(+0{,}06)(+0{,}06) + 6(+1{,}42)(+0{,}06)^2 - 3(+0{,}06)^4\right] =$$

$$= 69{,}12$$

Определяем основные моменты и показатели асимметрии А и эксцесса Э.

$$A = \rho_3 = \frac{\mu_3}{S^3} = \frac{-1,56}{(2,38)^3} = -0,12$$

$$Э = \rho_4 - 3 = \frac{\mu_4}{S^4} - 3 = \frac{69,12}{(2,38)^4} - 3 = 2,15 - 3 = -0,85$$

Находим коэффициент вариации:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{2,38}{43,12} \cdot 100 = 5,5\%$$

По формуле (2.I6) определяем модальное значение:

$$Mo = x_{Mo} + \Delta x \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} = 42 + \frac{2(15-10)}{(15-10)+(15-13)} =$$

$$= 43,43\ \%\ Fe$$

Для вычисления медианы составим таблицу накопленных частот исследуемого вариационного ряда:

Таблица 5

Интервалы вариационного ряда, %	38–40	40–42	42–44	44–46	46–48
Частоты, n_i	6	I0	I5	I3	6
Накопленные частоты, n_{si}	6	I6	3I	44	50

По формуле (I7) находим значение медианы:

$$Me = x_{Me} + \Delta x \frac{\left(\frac{N}{2} - n_{sMe}\right)}{n_{Me}} = 42 + \frac{2(25-16)}{15} = 43,2\ \%\ Fe$$

Таким образом вариационный ряд распределения содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гайского месторождения меди практически симметричный, так как значение средней величины содержания, моды и медианы совпадают друг с другом в пределах погрешности $\pm$ I,0 % нейтронного активационного метода опробования, который использовался для определения содержания железа в рудах. О симметрии вариационного ряда свидетельствует также

небольшое значение показателя асимметрии A = -0,I2. Степень изменчивости содержания железа в сплошных медных колчеданах весьма равномерная, так как вычисленные значения коэффициента вариации V = 5,5% не превышают 6%. По значению показателя эксцесса Э = -0,84 вариационный ряд относится к плосковершинному.

2.2. Теоретические распределения

Результаты измерений физических свойств горных пород осложнены погрешностями наблюдений, поэтому они носят случайный характер и обладают свойствами случайной величины. Случайной величиной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, заранее неизвестное.

Если перечислить все возможные значения случайной величины и указать вероятности этих значений, то получится распределение случайной величины. Характеристикой непрерывной случайной величины является плотность вероятности с которой распределяются её значения в окрестности данной точки $f(x)$. Плотность распределения вероятностей называют дифференциальной функцией распределения или дифференциальным законом распределения. Кривая, изображающая плотность распределения случайной величины, называется дифференциальной кривой распределения.

Вероятность того, что случайная величина x примет значение, лежащее в границах от a до B, равна определённому интегралу в тех же пределах от плотности вероятности

$$P(a < x < B) = \int_a^B f(x)dx$$

Геометрически эта вероятность выражается площадью криволинейной фигуры (рис.3).

Кроме дифференциальной функции распределения вероятностей часто используется кумулятивная функция распределения случайной величины, которая подсчитывается по формуле:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx \qquad (\ I8\ )$$

Кумулятивная функция непрерывной случайной величины харак-

теризует вероятность того, что случайная величина X примет значение меньше $X < x$.

Кумулятивная функция распределения называется также интегральной функцией или интегральным законом распределения. Она является универсальной характеристикой случайной величины. Кумулятивная функция монотонно возрастает в пределах $0 \le F(x) \le 1$. При $x \to -\infty$ она убывает до нуля, при $x \to +\infty$ стремится к единице (рис.3).

Аналогично статистическим характеристикам при описании случайных величин вводятся их числовые характеристики (математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, показатель асимметрии и показатель эксцесса).

Математическое ожидание M_x непрерывной случайной величины определяется по формуле:

$$M_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \qquad (11)$$

По смыслу математическое ожидание является мерой положения и эквивалентно среднему значению вариационного ряда.

Дисперсия $D(x)$ непрерывной случайной величины характеризует степень рассеяния отдельных значений от математического ожидания случайной величины и подсчитывается по формуле:

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^2 f(x) dx \qquad (12)$$

Среднее квадратичное отклонение σ_x и коэффициент вариации V_x являются мерами рассеяния случайной величины около её математического ожидания и определяются по формулам $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ и $V_x = \sigma_x / M_x$. Мерами рассеяния случайной величины являются также показатель асимметрии A_x и показатель эксцесса $\Im_x$, которые по своему смыслу аналогичны показателям асимметрии и эксцесса вариационного ряда. Для непрерывной случайной величины:

$$A_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^3 f(x) dx \qquad (13)$$

$$\Im_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^4 f(x) dx \qquad (14)$$

График дифференциальной и интегральной функции распределения непрерывной случайной величины

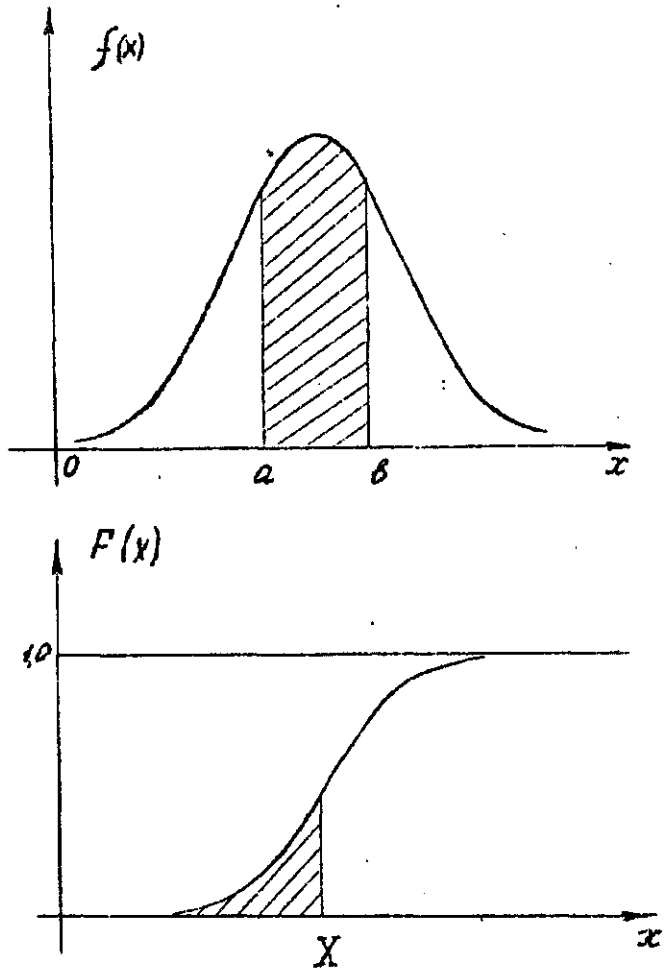


Рис. 3

Статистические характеристики вариационных рядов при достаточной статистике отсчетов стремятся, как к пределу, к числовым характеристикам случайных величин, распределение которых является предметом исследования теории вероятностей и носит закономерный характер.

Законы распределения случайной величины могут быть различными Для непрерывных случайных величин, к которым относятся физические свойства горных пород, чаще всего встречается нормальное (Гауссово) распределение и логарифмически нормальное распределение случайной величины.

Случайная величина x распределена нормально, если функция плотности вероятности $f(x)$ имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-M_x)^2}{2\sigma_x^2}\right] \qquad (15)$$

где M_x - математическое ожидание, σ_x - среднее квадратическое отклонение (стандарт). Математическое ожидание соответствует среднему арифметическому отдельных измерений случайной величины:

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (16)$$

Стандарт подсчитывается по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - M_x)^2}{n}} \qquad (17)$$

Функция нормального распределения характеризуется двумя параметрами M_x и σ_x и имеет колоколообразную форму. При всех значениях x функция $f(x)$ принимает только положительные значения. Ветви кривой асимптотически приближаются к оси абсцисс $\lim_{x \to \pm\infty} f(x) = 0$. При $x = M_x$ нормальное распределение достигает максимума $f(x)_{max} = 1/\sigma_x \sqrt{2\pi}$. Ветви кривой симметричны относительно прямой $x = M_x$, так как $x - M_x$ содержится в формуле (15) в квадрате. Параметр M_x не оказывает влияния на форму кривой $f(x)$, но смещает её вдоль оси x. Параметр σ_x определяет вытянутость или сжатость кривой по оси x. Математическое ожидание величины x совпадает с модой и медианой $M_x = M_o = M_e$. Асимметрия и эксцесс нормального распределения равны нулю $A = Э = 0$ (Рис 4).

Внешний вид дифференциальной функции нормального распределения

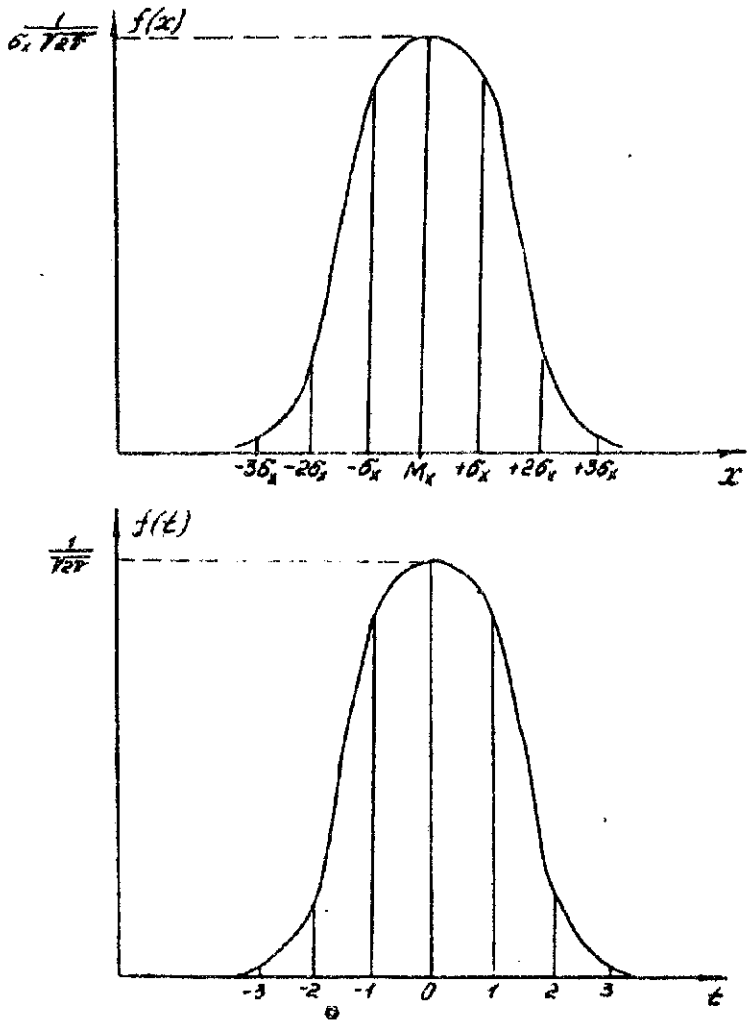


Рис. 4

Заменой переменных $t = \frac{x-M_x}{\sigma_x}$ любое нормальное распределение может быть приведено к простейшему виду

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \qquad (18)$$

Такое преобразование переменной называется нормированием случайной величины к её среднему квадратическому отклонению. При этом начало отсчета переносится в точку M_x, а в качестве единицы масштаба используется среднее квадратическое отклонение σ_x. Функция нормированного нормального распределения зависит от одного параметра, аргумента $t = (x-M_x)/\sigma_x$. Кривая простейшего нормального распределения симметрична относительно оси ординат. При $t=0$ она имеет максимум равный $f(t)_{max} = 1/\sqrt{2\pi} \approx 0{,}4$. Площадь, ограниченная кривой $f(t)$ и осью t равна 0,683 в пределах от - 1 до + 1, 0,954 в пределах от - 2 до + 2, 0,997 в пределах от - 3 до + 3 и единице в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4).

Кумулятивная функция нормального распределения имеет вид:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(x-M_x)^2}{2\sigma_x}} dx \qquad (19)$$

Нормированная кумулятивная функция нормального распределения подсчитывается по формуле

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \qquad (20)$$

функция табулирована / 1, 2 /.

Непрерывная случайная величина x распределена логарифмически нормально, если логарифмы её значений распределены по закону Гаусса

$$f(y) = \frac{M}{\sigma_\lambda\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y-M_y)^2}{2\sigma_\lambda^2}\right] \qquad (21)$$

где $y = \lg x$, M_y - математическое ожидание случайной величины y, σ_λ - среднее квадратическое отклонение $\lg x$ от его математического ожидания (логарифмический стандарт), M - переводной коэффициент от натуральных логарифмов к десятичным.

Математическое ожидание $\lg x$ соответствует среднему геометрическому самой случайной величины x.

$$\mathrm{antlg}\,(M_{\lg x}) = \tilde{x} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} x_i} \qquad (22)$$

Логарифмический стандарт подсчитывается по формуле

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\lg x - M_{\lg x})^2}{n}} \qquad (23)$$

Кривая логарифмически нормального распределения имеет положительную (правостороннюю) асимметрию, причем $M_o < M_e < M_x$ тем сильнее, чем больше σ_λ. Эта кривая симметризуется с помощью логарифмического масштаба по оси абсцисс (рис. 5).

Кумулятивная функция логарифмически нормального распределения имеет вид

$$F(x) = \frac{1}{\sigma_\lambda\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\lg x} e^{-\frac{(\lg x - M_{\lg x})^2}{2\sigma_\lambda^2}} d\lg x \qquad (24)$$

2.3. Сопоставление эмпирических и теоретических распределений

Распределение физических параметров однородного геологического объекта чаще всего подчиняется нормальному закону (например, плотность горной породы) или логнормальному закону (магнитная восприимчивость, удельное электрическое сопротивление, концентрация химических элементов). Для правильной обработки результатов измерений необходимо знать какому закону соответствует распределение данного физического свойства. В соответствии с законом распределения при построении вариационных кривых интервалы группирования физических свойств выбираются равными между собой в линейном масштабе при нормальном распределении. При построении полигонов и кумулят всегда показывают точки, по которым они строятся.

Для сравнения распределений графики накопления частостей удобно строить на вероятностном трафарете, который характеризуется вероятностной шкалой по оси ординат. На вероятностном трафарете нормальное распределение описывается прямой линией.

Сопоставление результатов эксперимента в виде гистограмм и графика накопления частостей с теоретическим нормальным распределением [illegible] рис. 6.

Кривые плотности вероятностей логарифмически нормального распределения

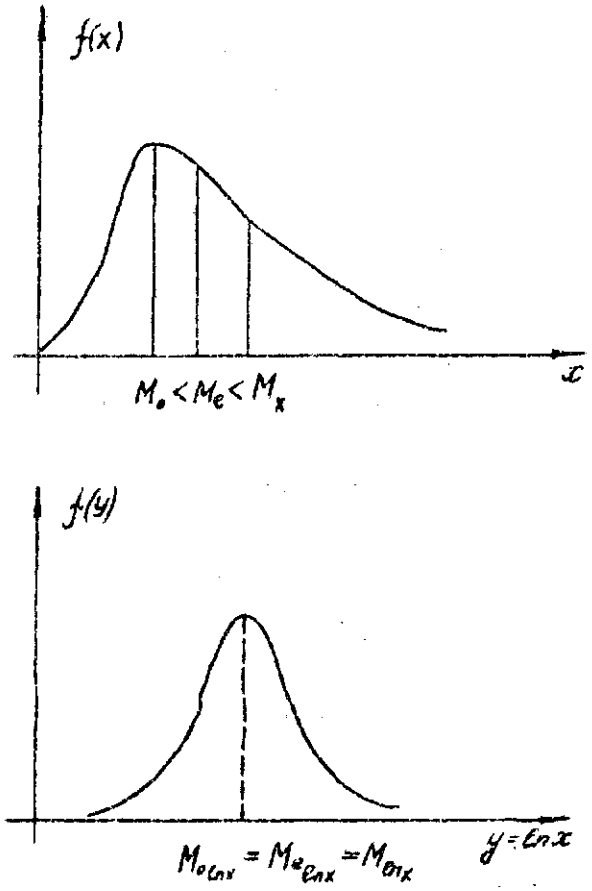


Рис. 5

Характер экспериментального (I) и теоретического нормального (2) распределений физического свойства x в виде гистограммы (а), графиков накопления частостей в обычном масштабе (б) и на вероятностном бланке (в)

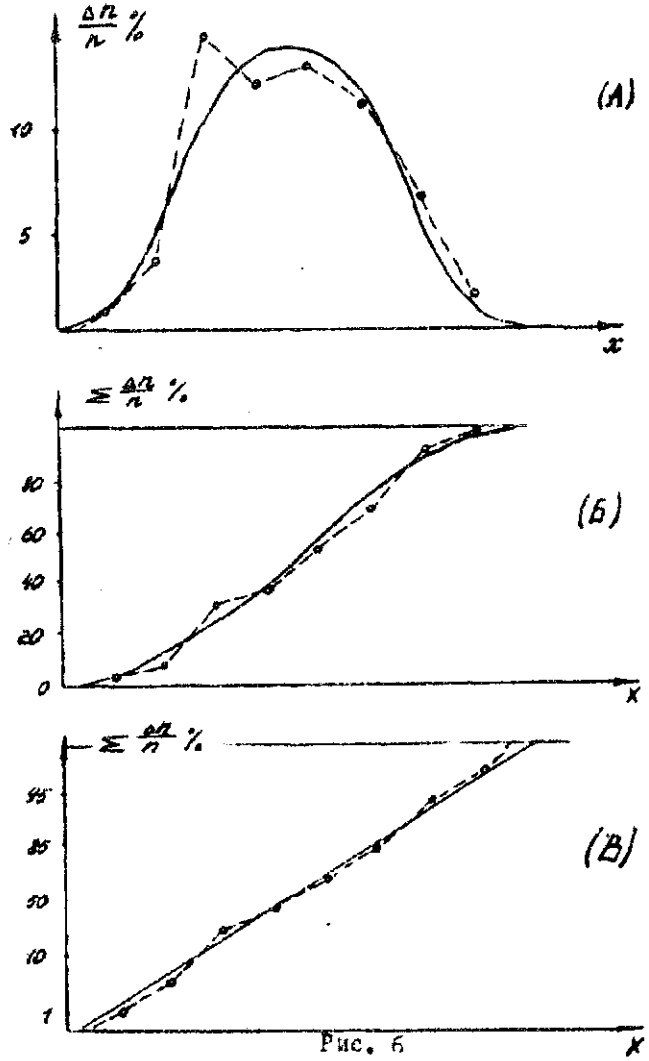


Рис. 6

Для проверки близости эмпирического и теоретического распределений используются критерии согласия χ^2 (хи - квадрат) Пирсона или λ А.Н.Колмогорова.

Критерий Пирсона основан на оценке статистической значимости расхождений эмпирических частот n_i вариационного ряда и частот n_i' соответствующего теоретического распределения, рис.6,а. Разности $n_i - n_i'$ возводятся в квадрат и делятся на n_i' откуда получают формулу критерия согласия χ^2

$$\chi_н^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'} \qquad (25)$$

где $\chi_н^2$ - найденное значение критерия Пирсона, k - число интервалов вариационного ряда.

Критерий Пирсона зависит от числа степеней свободы f и уровня значимости α. Число степеней свободы определяют по формуле

$$f = k - c \qquad (26)$$

в которой c - количество наложенных связей при вычислении теоретических частот. Для нормального распределения количество наложенных связей равно двум, так как при расчете теоретических частот необходимо знать два параметра: математическое ожидание M_x и стандарт σ_x. Поэтому при оценке близости эмпирической кривой к нормальному распределению число степеней свободы определяется по формуле $f = k - 2$. Уровень значимости обычно задается в виде $\alpha = 0{,}05$ или $\alpha = 0{,}01$. Зная α и f определяют теоретическое значение $\chi_{\alpha,f}^2$ для чего используют специальные таблицы / I /.

Найденное значение $\chi_н^2$ сравнивают с табличным $\chi_{\alpha,f}^2$. Если $\chi_н^2 < \chi_{\alpha,f}^2$, то эмпирическое распределение не противоречит теоретическому, если $\chi_н^2 > \chi_{\alpha,f}^2$, то наблюдается статистически значимое различие между эмпирическим распределением и теоретическим. Если гипотеза о нормальном распределении не подтверждается, то необходимо провести проверку исходных данных и выявить причины приводящие к нарушению нормального распределения.

Для проведения вычисления составляется специальная таблица 6. В качестве примера рассмотрим вариационный ряд распределения

Таблица 6

Расчет исходных данных для определения критерия согласия $\chi_н^2$

№ п/п	Интервалы содержания, %	x_i	n_i	...	$\Delta i = x_i - \bar{x}$	$t = \frac{\Delta i}{\sigma}$	$\varphi(t)$	$n_i' = k\varphi(t)$	$n_i - n_i'$	$(n_i - n_i')^2$	$\frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'}$
1	38–40	39	6	...	-4,12	1,73	0,0893	3,75	2,25	5,06	1,35
2	40–42	41	10	...	-2,12	0,89	0,2685	11,28	1,28	1,64	0,15
3	42–44	43	15	...	-0,12	0,05	0,3984	16,73	1,73	2,99	0,18
4	44–46	45	13	...	+1,88	0,80	0,2897	12,17	0,83	0,69	0,06
5	46–48	47	6	...	+3,88	1,63	0,1057	4,44	1,56	2,43	0,55
I	2	3	4	...	8	9	10	11	12	13	14
Сумма			50								$\chi_н^2 = 2{,}29$

Примечание. $\bar{x} = 43{,}12$ Гц, $\sigma = 2{,}38$ Гц, $k = \frac{N\Delta x}{\sigma} = \frac{50 \cdot 2}{2{,}38} = 42$, $f = 5 - 2 = 3$

содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гайского месторождения меди (таблица 4). Первые семь граф таблицы 6 совпадают с графами таблицы 4. Эти графы необходимы для нахождения среднего значения содержания железа $\bar{x}$ =43,12 % и стандарта S =2,38 %. Затем вычисляют для каждого интервала вариационного ряда отклонение Δ_i значений середины интервалов x_i от среднего значения $\bar{x}$ $\Delta_i = x_i - \bar{x}$ (графа 8). Подсчитывают нормированное отклонение $t = \frac{\Delta_i}{S}$, где S - стандарт вариационного ряда (графа 9). Подсчитывается нормированная плотность вероятности нормального распределения $\varphi(t)$ без учета знака t (графа 10). Значения функции $\varphi(t)$ приведены в таблице 8. Подсчитывается переходный коэффициент K от функции $\varphi(t)$ к теоретическим частотам нормального распределения по формуле

$$K = \frac{N \Delta X}{S} \qquad (27)$$

где N - объем выборки, ΔX - ширина интервала группирования, S - стандарт. Вычисляются теоретические частоты n_i' нормального распределения $n_i' = K \varphi(t)$ (графа 11). Находятся отклонения эмпирических частот от теоретических $n_i - n_i'$ (графа 12), квадраты этих отклонений (графа 13) и частные от деления этих квадратов на n_i' (графа 14). Наблюдаемое значение критерия Пирсона находятся как сумма значений четырнадцатой графы.

Найденное значение критерия Пирсона $\chi^2_н$ сравнивается с теоретическим $\chi^2_т$, приведенным в таблице 9. При уровне значимости α =0,05 и числе степеней свободы f =5-2=3 $\chi^2_{0,05;3}$ =7,82 > > 2,28= χ^2. Следовательно, вариационный ряд распределения содержания железа в рудах Гайского месторождения не противоречит нормальному закону. Вероятность случайного расхождения между теоретическим и статистическим распределением достаточно велика и можно считать правдоподобной гипотезу о нормальном распределении статистической совокупности.

Критерий согласия λ А.Н.Колмогорова основан на подсчете максимального значения модуля разности между графиком накопленных частот (кумулятой) вариационного ряда (рис.6) и теоретической функцией распределения

$$D = max\,|w - F(x)| \qquad (28)$$

w - кумулята вариационного ряда, $F(x)$ - нормированная кумулятивная функция нормального распределения (интеграл вероятности).

Значения кумулятивной функции нормального распределения подсчитываются по формуле

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \qquad (29)$$

В таблице 10 приведены значения функции

$$F'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{t} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \qquad (30)$$

Используя эту таблицу можно найти кумулятивную функцию нормального распределения по формулам

$$F(x) = 0,5 + F'(x)$$
$$F(-x) = 0,5 - F'(x) \qquad (31)$$

Критерий согласия А.Н.Колмогорова определяется соотношением $\lambda = D\sqrt{N}$, где N - число независимых наблюдений (объем выборки) Найденное значение критерия $\lambda_н$ сравнивается с теоретическим при уровне значимости α =0,05 $\lambda_{0,05}$ =1,36. Если найденное значение $\lambda_н < \lambda_{0,05}$, то вариационный ряд не противоречит нормальному распределению. Если $\lambda_н > \lambda_{0,05}$, то вариационный ряд не согласуется с нормальным распределением.

Для проведения вычислений составляется таблица 7.

Максимальное значение модуля разности между кумулятой вариационного ряда и нормированной кумулятивной функцией распределения в рассматриваемом случае равно $D = max|w - F(t)|$ =0,025. При этом найденное значение критерия А.Н.Колмогорова равно $\lambda_н = D\sqrt{N}$ =0,025$\sqrt{50}$ = 0,18. Поскольку найденное значение $\lambda_н$ меньше критического для 5 % - ного уровня значимости $\lambda_н < \lambda_{0,05}$ (1,36), то вариационный ряд распределения содержания железа в рудах Гайского месторождения не противоречат нормальному закону.

Способ построения кумулятивных кривых на вероятностном графарете рис.6.8 имеет ряд преимуществ перед методом построения

Таблица 7

Расчет исходных данных для определения критерия согласия λ

Номер п/п	Интервалы содержаний, % $a - b$	n_i	Частость $w_i = \frac{n_i}{N}$	Накопленная частость w	$t = \frac{b - \bar{x}}{S}$	$F(t)$	$\lvert w - F(t) \rvert$
I	2	3	4	5	6	7	8
I	38–40	6	0,I2	0,I2	-I,3I	0,095	0,025
2	40–42	I0	0,20	0,32	-0,47	0,3I9	0,00I
3	42–44	I5	0,30	0,62	0,37	0,644	0,024
4	44–46	I3	0,26	0,88	+I,2I	0,089	0,007
5	46–48	6	0,I2	I,00	+2,05	0,098	0,020
	Сумма	50					

Примечание. a и b – соответственно начало и конец i-го интервала,
$\bar{x} = 43,I2\%\ Fe$, $S = 2,38\%\ Fe$ $N = 50$

вариационных кривых. Главными преимуществами являются: универсальность, пригодность для обработки нормального и логнормального распределений, простота аппроксимации семейства точек прямой линией, особенно в краевых частях распределения, возможность группировки в неравных интервалах группирования, возможность простой, но строгой оценки гипотезы нормальности (или логнормальности) с использованием критериев А.Н.Колмогорова.

ЗАДАНИЕ

по статистической обработке результатов измерения физических свойств горных пород.

I. Выполнить статистическую обработку результатов измерения физических свойств горных пород медноколчеданного месторождения Абей-Сай-Тау-Тау (Баймакский район БаССР). Составить вариационные ряды значений электросопротивления и плотности кварцевых альбитофиров, которые приведены в таблице II. Построить графики, вычислить статистические характеристики, подсчитать критерии согласия эмпирических вариационных рядов и теоретических распределений

2. Выполнить статистическую обработку результатов измерения физических свойств горных пород. Для этого построить графики, вычислить статистические характеристики и подсчитать критерии согласия эмпирических вариационных рядов с нормальным распределением физических параметров.

Варианты заданий по статистической обработке.

Вариант I. Распределение плотности хромовой руды, г/см^3.

Вариант 2. Распределение плотности силикатной никелевой руды, г/см^3.

Вариант 3. Распределение влажности силикатной никелевой руды, %.

Таблица 8.

Таблицы вариационных рядов

Вариант I		Вариант 2		Вариант 3	
классы	частоты	классы	частоты	классы	частоты
3,0-3,I	I	I-I,2	I	I0-20	I
3,I-3,2	2	I,2-I,4	2	20-30	8
3,2-3,3	7	I,4-I,6	3	30-40	29
3,3-3,4	II	I,6-I,8	8	40-50	23
3,4-3,5	I9	I,8-2,0	33	50-60	I0
3,5-3,6	I6	2,0-2,2	I4	60-70	3
3,6-3,7	8	2,2-2,4	I0	70-80	2
3,7-3,8	7	2,4-2,6	4		
3,8-3,9	2	2,6-2,8	I		
	Σ = 73		Σ = 76		Σ = 76

Таблица № 9

Таблица значений функции $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$

x	0	I	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977
0,I	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468
I,0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227
I,I	2203	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012
I,2	I942	I919	I895	I872	I849	I826	I804	I781	I758
I,3	I714	I691	I669	I647	I626	I604	I582	I561	I539
I,4	I497	I476	I456	I435	I415	I394	I374	I354	I334
I,5	I295	I276	I257	I238	I219	I200	I182	I163	I145
I,6	I109	I092	I074	I057	I040	I023	I006	0989	0973
I,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818
I,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681
I,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459
2,I	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047
3,0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0035	0034
3,I	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009
3,5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007
3,6	0006	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0004
3,7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003
3,8	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002
3,9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

Таблица 10

Значения статистики Хи -квадрат ($\chi^2_{\alpha,f}$)

f	χ^2	f	χ^2	f	χ^2
		Уровень значимости α = 0,05			
I	3,84	II	I9,67	2I	32,67
2	5,99	I2	2I,03	22	33,92
3	7,82	I3	22,36	23	35,I7
4	9,49	I4	23,68	24	36,4I
5	II,07	I5	25,00	25	37,65
6	I2,59	I6	26,30	26	38,88
7	I4,07	I7	27,59	27	40,II
8	I5,5I	I8	28,87	28	4I,34
9	I6,92	I9	30,I4	29	42,56
I0	I8,3I	20	3I,4I	30	43,77
		Уровень значимости α = 0,0I			
I	6,63	II	24,73	2I	38,93
2	9,2I	I2	26,22	22	40,29
3	II,34	I3	27,69	23	4I,64
4	I3,28	I4	29,I4	24	42,96
5	I5,09	I5	30,58	25	44,3I
6	I6,8I	I6	32,00	26	45,64
7	I8,48	I7	33,4I	27	48,96
8	20,09	I8	34,80	28	48,28
9	2I,67	I9	36,I9	29	49,59
I0	23,2I	20	37,57	30	50,89

Таблица №II,2

Таблица значений функции $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,00000	00399	00798	0II97	01595	01994	02392	02790	03188
0,I	03983	04380	04776	05I72	05567	05962	06356	06749	07142
0,2	07926	08317	08706	09095	09483	0987I	I0257	I0642	I1026
0,3	II79I	I2172	I2552	I2930	I3307	I3683	I4058	I443I	I4803
0,4	I5542	I59I0	I6276	I6640	I7003	I7364	I7724	I8082	I8439
0,5	I9I46	I9497	I9847	20I94	20540	20884	2I226	2I566	2I904
0,6	22575	22907	23237	23565	2389I	24215	24537	24857	25I73
0,7	25804	26II5	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230
0,8	288I4	29I03	29389	29673	29955	30234	305II	30785	3I057
0,9	3I594	3I859	32I2I	32383	32639	32894	33I47	33398	33646
I,0	34I34	34375	346I4	34850	35083	353I4	35543	35769	35993
I,I	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38I00
I,2	38493	38686	38877	39065	3925I	39435	396I7	397?6	39973
I,3	40320	40490	40658	40824	40988	4II49	4I309	4I466	4I62I
I,4	4I924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056
I,5	43I9	43448	43574	43699	43822	42943	43062	44I79	44295
I,6	44520	44630	44738	44845	44950	45052	45I54	45I54	45352
I,7	45543	45637	45728	458I8	45907	45994	46080	46I64	46246
I,8	46407	46485	46562	46638	467I2	46784	46856	46926	46995
I,9	47I28	47I93	47257	47320	4738I	4744I	47500	47558	476I5
2,0	47725	47778	4783I	47882	47932	47982	48030	48077	48I24
2,I	482I4	48257	48300	4834I	48382	48422	4846I	485?0	48537
2,2	486I0	48645	48679	487I3	48745	48778	48809	48840	4886?
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	4906I	49086	49III	49I34
2,4	49I80	49202	49224	49245	49266	49286	49306	49324	49343
2,5	49379	49396	494I3	49430	49446	4946I	49477	49492	49506
2,6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	4962I	49632
2,7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	497II	49720	49728
2,8	49744	49752	49760	49767	49774	4978I	49788	49795	49801
2,9	498I3	498I9	49825	4983I	49836	4984I	43846	498?I	498??
3,0	0,49865		3,I	49903	3,2	4993I	3,3	49952	3,4
3,5	49977		3,6	49984	3,7	49989	3,8	49993	3,9
4,0	499968								
4,5	499997								
5,0	49999997								

Таблица 12

Физические свойства кварцевых альбитофиров месторождение Абей-Сяз-Тау-Тау

Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)	Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)
I	920	2,67	3I	II00	2,74
2	970	2,69	32	I300	2,75
3	I200	2,63	33	700	2,73
4	I300	2,65	34	660	2,8I
5	4200	2,6I	35	II00	2,64
6	3700	2,64	36	I500	2,72
7	2200	2,7I	37	8I0	2,80
8	3500	2,7I	38	I300	2,94
9	5700	2,68	39	740	2,77
I0	5800	2,69	40	920	2,90
II	6000	2,68	4I	560	2,75
I2	4800	2,7I	42	940	2,75
I3	3900	2,73	43	990	2,74
I4	7600	2,7I	44	I300	2,74
I5	3900	2,58	45	450	2,59
I6	840	2,72	46	2400	2,68
I7	420	2,65	47	5800	2,67
I8	660	2,74	48	I600	2,73
I9	3000	2,95	49	5400	2,77
20	800	2,75	50	3200	2,68
2I	I000	2,75	5I	420	2,97
22	670	2,8I	52	I600	2,89
23	I200	2,74	53	I600	2,83
24	I400	2,75	54	I500	2,7I
25	750	2,9I	55	400	2,72
26	2500	2,75	56	370	2,75
27	I900	2,74	57	2000	2,68
28	I000	2,75	58	480	2,73
29	I200	2,74	59	690	2,76
30	I900	2,75	60	2000	2,68

Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)	Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)
6I	I300	2,77	9I	350	2,7I
62	I500	2,64	92	460	2,8I
63	2500	2,78	93	I90	2,77
64	9600	2,72	94	300	2,60
65	680	2,73	95	640	2,90
66	5000	2,80	96	I60	2,74
67	500	2,75	97	830	2,70
68	I500	2,75	98	I200	2,90
69	890	2,76	99	II00	2,72
70	I000	2,70	I00	I600	2,72
7I	3500	2,72	I0I	790	2,70
72	2900	2,73	I02	6I0	2,73
73	7700	2,58	I03	990	2,78
74	II00	2,60	I04	II00	2,74
75	I200	2,74	I05	8500	2,72
76	5700	2,70	I06	I0900	2,70
77	580	2,66	I07	I0000	2,70
78	230	2,75	I08	I2000	2,68
79	240	2,70	I09	2800	2,77
80	200	2,87	II0	4I00	2,66
8I	200	2,84	III	8700	2,63
82	350	2,73	II2	I2000	2,68
83	II00	2,82	II3	I0000	2,67
84	220	2,73	II4	8200	2,69
85	220	2,70	II5	9000	2,66
86	9I	2,7I	II6	9600	2,65
87	I80	2,83	II7	2200	2,72
88	300	2,66	II8	9200	2,68
89	400	2,87	II9	4200	2,70
90	I7	2,85	I20	7700	2,75

Номер	ρ (Ом м)	σ (г/см^3)	Номер	ρ (Ом м)	σ (г/см^3)
I2I	3700	2,67	I5I	6I0	2,60
I22	4400	2,66	I52	360	2,90
I23	6I00	2,7I	I53	940	2,82
I24	9300	2,65	I54	660	2,84
I25	I400	2,73	I55	900	2,75
I26	6400	2,67	I56	I000	2,83
I27	2I0	2,68	I57	930	2,93
I28	260	2,76	I58	I50	2,89
I29	220	2,83	I59	470	2,8I
I30	460	2,8I	I60	630	2,84
I3I	360	2,85	I6I	770	2,82
I32	270	2,8I	I62	690	2,79
I33	490	2,76	I63	300	2,83
I34	370	2,77	I64	63	2,86
I35	430	2,82	I65	200	2,85
I36	I70	2,72	I66	3I0	2,84
I37	400	2,78	I67	380	2,80
I38	240	2,80	I68	5200	2,8I
I39	2I0	2,8I	I69	5500	2,80
I40	450	2,79	I70	3300	2,8I
I4I	3I0	2,84	I7I	7I00	2,69
I42	260	2,83	I72	4400	2,79
I43	200	2,8I	I73	4800	2,7I
I44	440	2,87	I74	4000	2,8I
I45	400	2,86	I75	59	2,75
I46	270	2,84	I76	4I	2,77
I47	980	2,83	I77	I93	2,90
I48	820	2,83	I78	220	2,70
I49	630	2,86	I79	3I6	2,7I
I50	720	2,89	I8I	306	2,79
			I82	270	2,77
			I83	340	2,72

3. Работа № 3. ОЦЕНКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

При картировании горных пород геологическая эффективность геофизических методов может быть оценена по их информативности. Расчет информативности основан на оценке среднего количества информации о системе горных пород Y, содержащейся в сообщении о состоянии системы значений физического поля X. Для численных расчетов необходимо ознакомиться с некоторыми понятиями теории информации.

3.1. Теоретические предпосылки

Из курса теории информации известно понятие физической системы /1/. Для геофизиков-разведчиков физической системой может быть система значений физического поля, набор геологических объектов, система типов горных пород и т.д.

Пусть X физическая система, которая случайным образом может оказаться в том или ином состоянии, т.е. системе X присуща какая-то степень неопределенности. Меру неопределенности состояния физической системы будем называть энтропией. Сведения тем ценнее и содержательнее, чем больше была неопределенность системы X априори до их получения.

Степень неопределенности состояния системы определяется числом ее возможных состояний и вероятностью этих состояний. Например, монета может оказаться в одном из двух состояний "герб" или "решка". Кубик имеет шесть возможных состояний. Степень неопределенности состояний кубика больше, чем монеты. Априорные вероятности состояний монеты равны 0,5. Двигатель внутреннего сгорания тоже может оказаться в одном из двух состояний рабочем или нерабочем. Однако вероятность запущенного двигателя оказаться в рабочем состоянии равна 0,99. Степень неопределенности такой системы значительно меньше, чем у монеты. Таким образом, для описания неопределенности состояния системы необходимо знать количество возможных состояний и их вероятности.

В общем случае система X принимает состояния $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots x_n$ с вероятностями $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$, где $p_i = P(X \sim x_i)$ - вероятность того, что система X примет состояние x_i. Символом $X \sim x_i$ будем обозначать событие, состоящее в том, что система X находится в состоянии x_i. При этом все состояния образуют полную группу попарно несовместных событий, которые в сумме дают достоверное событие $\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$.

Запишем данные о состоянии системы X в виде таблицы:

x_i	x_1	x_2	x_3	...	x_n
p_i	p_1	p_2	p_3	...	p_n

В верхней строке таблицы записаны возможные состояния системы, а в нижней строке вероятности возможных состояний. Эта таблица сходна с рядом распределения прерывной случайной величины X с возможными значениями $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, имеющими вероятности $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$. Для того, чтобы свести состояния физической системы к случайной величине X, достаточно приписать каждому состоянию какое-то числовое значение, например, его номер.

Мерой априорной неопределенности состояния системы является энтропия. Энтропией системы называется сумма произведений вероятностей различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, взятая с обратным знаком

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_a p_i \qquad (3.1)$$

Знак минус перед суммой поставлен для того, чтобы энтропия была положительной, т.к. $p_i < 1$ и $\log p_i < 0$. Основание логарифма может быть любым $a > 1$. Перемена основания равносильна умножению энтропии на постоянное число, а выбор основания равносилен выбору единицы измерения энтропии. Например, при $a = 10$ единицы называются десятичными, при $a = 2$ единицы называются двоичными.

Двоичные единицы хорошо совпадают с двоичной системой счисления ЭВМ. При выборе основания логарифма $a = 2$ за единицу измерения энтропии принимается энтропия физической системы X, которая имеет два равновозможных состояния, например, энтропия монеты, ячейки памяти на ферритах или энтропия одного разряда двоичного числа, которое может принимать значения 0 или 1.

Систему с двумя равновозможными состояниями можно представить в виде:

x_i	x_1	x_2
p_i	0,5	0,5

Энтропия такой системы равна единице, которая называется двоичной единицей энтропии

$$H(X) = -\left(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}\right) = 1$$

Двоичная единица энтропии называется битом, от слова *bit* (сокращения от *binary digit* - двоичный знак). Это энтропия одного разряда двоичного числа.

В качестве примера подсчитаем в двоичных единицах энтропию системы X, имеющую n равновозможных состояний:

X_i	X_1	X_2	...	X_n
P_i	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n}$	...	$\frac{1}{n}$

По формуле (3.1)

$$H(X) = -n\frac{1}{n}\log_2\frac{1}{n} = -\log_2 1 + \log_2 n = \log_2 n \quad (3.2)$$

т.е. энтропия такой системы равна двоичному логарифму числа состояний.

Энтропия физической системы, подсчитанная по формуле (3.1), удовлетворяет трем основным свойствам:

- она обращается в нуль, когда одно из состояний системы достоверно, а другие состояния невозможны;
- при заданном числе состояний n, она обращается в максимум, когда состояния равновероятны;
- обладает свойством аддитивности, т.е. при объединении независимых систем их энтропии складываются.

Таким образом, подсчет энтропии по формуле (3.1) правильно характеризует степень неопределенности физического состояния системы, что и обусловило выбор формулы (3.1) для количественных подсчетов энтропии.

Для подсчета энтропии удобно использовать функцию:

$$\eta(p) = -p\log_2 p,$$

значения которой табулированы от нуля до единицы через 0,01 и приведены в приложении (таблица 3.1). Используя функцию $\eta(p)$, выражение (3.1) можно переписать в виде

$$H(X) = \sum_{i=1}^{n}\eta(p_i) \quad V \qquad (3.3)$$

Рассмотрим примеры количественных подсчетов энтропии геофизических систем.

Пример 1. Определить энтропию системы, состоящей из двух методов магниторазведки и гравиразведки, привлеченных в помощь геологическому картированию участка работ. В результате съемки система геофизических измерений X может оказаться в одном из четырех возможных состояний: $X \sim x_1$ - оба измерения высокие, $X \sim x_2$ - магниторазведка представлена высокими значениями, а гравиразведка низкими, $X \sim x_3$ - магниторазведка представлена низкими значениями, а гравиразведка высокими, $X \sim x_4$ - оба измерения низкие. Вероятности этих состояний, соответственно равны 0,2, 0,3, 0,4, 0,1.

Решение. Запишем условие задачи в виде таблицы состояний

X_i	X_1	X_2	X_3	X_4
P_i	0,2	0,3	0,4	0,1

По формуле (3) находим:

$$H(X) = \sum_{i=1}^{n}\eta(p_i) = \eta(0,2) + \eta(0,3) + \eta(0,4) + \eta(0,1)$$

Используя таблицу (3.1) получаем

$$H(X) = 0,4644 + 0,5211 + 0,5288 + 0,3322 = 1,85\ bit$$

Пример 2. Определить максимальную возможную энтропию системы из трех геофизических методов (магниторазведка, гравиразведка и электроразведка), каждый из которых может быть в четырех возможных состояниях.

Решение. Общее число возможных состояний равно $n = 4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$. Максимальная возможная энтропия системы будет в том случае, когда все состояния системы равновероятны. При этом по формуле (3.2) находим $H(X) = \log_2 64 = 6\ bit$.

Под объединением двух систем X и Y с возможными состояниями $X_1, X_2 \ldots X_n$ и $Y_1, Y_2 \ldots Y_m$ понимается сложная система (X, Y), состояния которой (x_i, y_j) представляет собой набор всех возможных состояний x_i и y_j. Число таких комбинаций будет $n \cdot m$.

Обозначим $P_{ij} = P(X \sim x_i, Y \sim y_j)$ вероятность того, что система (X, Y) будет в состоянии (x_i, y_j). Вероятности P_{ij} можно представить в виде таблицы.

y_j	x_i			
	x_1	x_2	...	x_n
y_1	p_{11}	p_{21}	...	p_{n1}
y_2	p_{12}	p_{22}	...	p_{n2}
⋮	...	...	...	...
y_m	p_{1m}	p_{2m}	...	p_{nm}

Энтропия сложной системы по определению равна

$$H(X,Y) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p_{ij} \log p_{ij} \qquad (3.4)$$

Если X и Y независимы, то при объединении систем их энтропии складываются

$$H(X,Y) = H(X) + H(Y) \qquad (3.5)$$

Если объединяются зависимые системы, то энтропия объединения меньше энтропий составных частей.

Обозначим $P(y_j/x_i)$ условную вероятность того, что система Y примет состояние y_j при условии, что система X находится в состоянии x_i

$$P(y_j/x_i) = P(Y \sim y_j / X \sim x_i)$$

Условную энтропию системы Y при условии, что система X находится в состоянии x_i, обозначим $H(Y/x_i)$.

По определению

$$H(Y/x_i) = -\sum_{j=1}^{m} P(y_j/x_i) \log P(y_j/x_i) \qquad (3.6)$$

Условная энтропия системы Y зависит от того, какое состояние x_i приняла система X. Таких состояний n. Вероятность этих состояний известна. Система Y может принимать разные состояния с вероятностью p_i.

Полную (среднюю) энтропию системы Y обозначим $H(Y/X)$. По определению среднего

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^{n} p_i H(Y/x_i) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \sum_{j=1}^{m} P(y_j/x_i) \log P(y_j/x_i) \qquad (3.7)$$

Условная энтропия $H(Y/X)$ характеризует степень неопределенности системы Y, остающуюся после того, как состояние системы X полностью определилось. Это полная условная энтропия системы Y. Порядок выполнения расчетов по формуле (3.7) проиллюстрируем на примере.

Пример. Имеются две системы Y и X, объединенные в одну (X,Y), где Y – система типов горных пород, X – система интервалов значений физического поля.

Каротажные диаграммы измерений радиоактивности и электрического поля исследуемых типов горных пород приведены на рис. 3.1. Горные породы сложены глинами y_1, песчаниками y_2 и известняками y_3. По скважине выполняется каротаж ГК (гамма-каротаж), ПС (каротаж потенциалов собственной поляризации горных пород), КС (каротаж кажущегося сопротивления) и НГК (нейтронный гамма-каротаж).

Требуется оценить степень неопределенности состояния системы горных пород Y, оставшуюся после того, как состояние системы интервалов значений физического поля X полностью определилось, т.е. все измерения выполнены.

Для определенности в качестве системы X выберем интервалы значений радиоактивного поля. Глины имеют повышенное значение радиоактивности 20–30 мкР/ч и выше, песчаники средние значения 10–20 мкР/ч, известняки имеют низкую радиоактивность 0–10 мкР/ч. Учитывая сказанное, интервалы значений естественной радиоактивности горных пород выберем следующим образом: x_1 в пределах 20–30 мкР/ч и выше, x_2 в пределах 10–20 мкР/ч, x_3 в пределах 0–10 мкР/ч.

Решение. Подсчитаем вероятности состояний $p_{ij} = P(X \sim x_i, Y \sim y_j)$ объединенной системы (X, Y). Для этого воспользуемся геометрической трактовкой понятия вероятности. Геометрическая вероятность обобщает классическое определение вероятности, как частоты появления события при многократном воспроизведении эксперимента, на бесконечное множество исходов эксперимента.

К понятию геометрической вероятности приводит задача о бросании точки в некоторую ограниченную область G, содержащую

в себе меньшую по размерам область g. Если событие A состоит в попадании точки в область g, то $P(A) = mes\, g / mes\, G$, где $mes\, g$ и $mes\, G$ – меры областей g и G. Это могут быть отрезки длин, площади, объемы. В нашем случае это отрезки длин по оси скважины.

С учетом сказанного, вероятность встречи горной породы j-го типа y_j равна:

$$P(y_j) = L(y_j)/L, \qquad (3.8)$$

вероятность наблюдения гамма-поля в i-том интервале значений x_i равна

$$P(x_i) = L(x_i)/L \qquad (3.9)$$

вероятность одновременной встречи горной породы j-го типа и наблюдения гамма-поля в i-ом интервале значений x_i равна

$$P(y_j, x_i) = L(y_j, x_i)/L \qquad (3.10)$$

где $L(y_j)$ – суммарный интервал встречи скважины с породой j-го типа, $L(x_i)$ – суммарный интервал наблюдения гамма-поля в интервале значений x_i, L – полная длина профиля наблюдений.

Составим таблицу P_{ij} вероятностей состояния системы (X, Y)

y_j		x_i			
		$X \sim x_i$			$P_j = P(Y \sim y_j)$
		x_1 (0-10)	x_2 (10-20)	x_3 (20-30)	
$Y \sim y_j$	y_1 (глина)	0	0,02	0.43	0,45
	y_2 (песчаник)	0	P_{ij}=0,39	0,03	0,42
	y_3 (известняк)	0,12	0,01	0	0,13
$P_i = P(X \sim x_i)$		0,12	0,42	0,46	1,0

По теории умножения вероятностей

$$p_i\, P(y_j/x_i) = P_{ij} \qquad (3.11)$$

откуда следует, что условные вероятности того, что система типов горных пород Y примет состояние y_j при условии, что система интервалов радиоактивного поля X находится в состоянии x_i, будут равны

$$P(y_j/x_i) = P_{ij}/p_i \qquad (3.12)$$

Поделив каждое значение таблицы P_{ij} на вероятности появления интервалов значений радиоактивного поля p_i, получим таблицу условных вероятностей $P(y_j/x_i)$, которая имеет вид:

y_j		x_i			
		$X \sim x_i$			
		x_1 (0-10)	x_2 (10-20)	x_3 (20-30)	
$Y \sim y_j$	y_1 (глина)	0	0.05	0,94	
	y_2 (песчаник)	0	$P(y_j/x_i)$=0,93	0,06	
	y_3 (известняк)	1	0.02	0	
$P_i = P(X \sim x_i)$		0,12	0,42	0,46	

Подсчитаем условную энтропию системы типов горных пород Y, остающуюся после того, как состояние системы интервалов значений радиоактивного поля X полностью определилось. Для этого используем формулу полной условной энтропии (3.7):

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} p_i\, \eta\left[P(y_j/x_i)\right] \qquad (3.13)$$

где $\eta(p) = -p \log_2 p$ – табулированная функция, приведенная в таблице 3.1 .

Воспользовшись таблицей 3.1 , находим:

$$H(Y/X) = 0{,}12\left[\eta(0)+\eta(0)+\eta(1)\right]+0{,}42\left[\eta(0{,}05)+\eta(0{,}93)+\right.$$

$$\left.+\eta(0{,}02)\right]+0{,}46\left[\eta(0{,}94)+\eta(0{,}06)+\eta(0)\right]=0{,}42\left[0{,}2161+\right.$$

$$\left.+0{,}0974+0{,}1128\right]+0{,}46\left[0{,}0839+0{,}2436\right]=0{,}328\ bit$$

Таким образом, неопределенность системы Y , оставшаяся после того, как состояние системы X полностью определилось, характеризуется энтропией 0,328 bit .

Установим связь между энтропией и информацией. Любые сведения (информация) уменьшают неопределенность системы (энтропию). Поэтому, естественно, количество информации измерять уменьшением энтропии.

Если до получения информации (априори) энтропия была $H(X)$, а после получения сведений состояние системы полностью определилось, т.е. энтропия стала равной нулю, то

$$J_X = H(X) - 0 = H(X) \qquad (3.14)$$

где J_X – информация о системе X .

Таким образом, количество информации, приобретаемое при полном выяснении состояния системы равно энтропии этой системы

$$J_X = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i \qquad (3.15)$$

где $p_i = P(X \sim x_i)$ – вероятность того, что система находится в состоянии x_i .

Естественно, каждое слагаемое выражения (3.15) рассматривать как частную информацию J_{x_i} отдельного сообщения о том, что система X находится в состоянии x_i

$$J_{x_i} = -\log p_i \qquad (3.16)$$

Тогда J_X будет средней (полной) информацией, получаемой от всех возможных отдельных сообщений с учетом их вероятностей. Если все возможные состояния априори равновероятны $p_1 = p_2 = \dots p_n = \frac{1}{n}$, то частная информация от отдельного сообщения $J_{x_i} = -\log p_i = \log n$ равна средней информации $J_X = -n\frac{1}{n}\log\frac{1}{n} = \log n$.

Измеряя информацию в двоичных единицах, мы характеризуем ее числом ответов "да" или "нет".

Действительно, для того чтобы выяснить состояние системы X , которая может оказаться в одном из двух состояний

x_i	x_1	x_2
p_i	p_1	p_2

Надо задать вопрос. Находится ли система X в состоянии x_1 ? Ответ "да" или "нет" доставляет информацию, которая достигает своего максимального значения $J_X = 1$, когда оба состояния априори равновероятны $p_1 = p_2 = \frac{1}{2}$ например, состояние системы "монета" . Таким образом, максимальная информация, даваемая ответом "да" или "нет", равна одной двоичной единице. Если информация равна n bit , то она равносильна информации, даваемой n ответами "да" или "нет" на вопросы, поставленные таким образом, что ответы "да" или "нет" одинаково вероятны.

Информация равна разности энтропий до и после получения сообщения о результатах измерений физического поля. Подсчитаем информацию, которую доставляют результаты измерений физического поля при определении типов исследуемых горных пород на участке работ. Такой подсчет позволяет оценить геологическую информативность используемого геофизического метода или комплекса методов.

Сформулируем задачу следующим образом. Получены сведения о результатах наблюдений физического поля X , которое связано с системой типов горных пород на участке работ Y . Какую информацию о системе Y дает наблюдение системы X ?

Определим среднюю (полную) информацию о системе Y , содержащейся в системе X , как уменьшение энтропии системы Y в результате получения сведений о X

$$J_{X-Y} = H(Y) - H(Y/X) \qquad (3.17)$$

где $H(y)$ – априорная энтропия системы y, $H(y/x)$ – апостериорная (остаточная) энтропия системы y, остающаяся после получения сведений о системе x.

Заметим, что $J_{x \to y} = J_{y \to x}$. Из двух систем каждая содержит относительно другой одну и ту же информацию, т.е. $H(x) - H(x/y) = H(y) - H(y/x)$.

Пример. Найти информацию о системе типов горных пород y, которая содержится в результатах измерений их естественной радиоактивности x.

Решение. Полная (средняя) информация о системе y, содержащаяся в системе x, подсчитывается по формуле (3.17). Энтропия системы y априори равна:

$$H(y) = \sum_{i=1}^{n} \eta[p(y_i)]$$

где $\eta(p) = -p \log_2 p$ – табулированная функция, приведенная в таблице 3.1. Априорные геометрические вероятности состояний системы y равны: для глин $p_1 = 0{,}45$, для песчаников $p_2 = 0{,}42$, для известняков $p_3 = 0{,}13$.

Воспользовавшись таблицей 3.1 находим априорную энтропию системы y

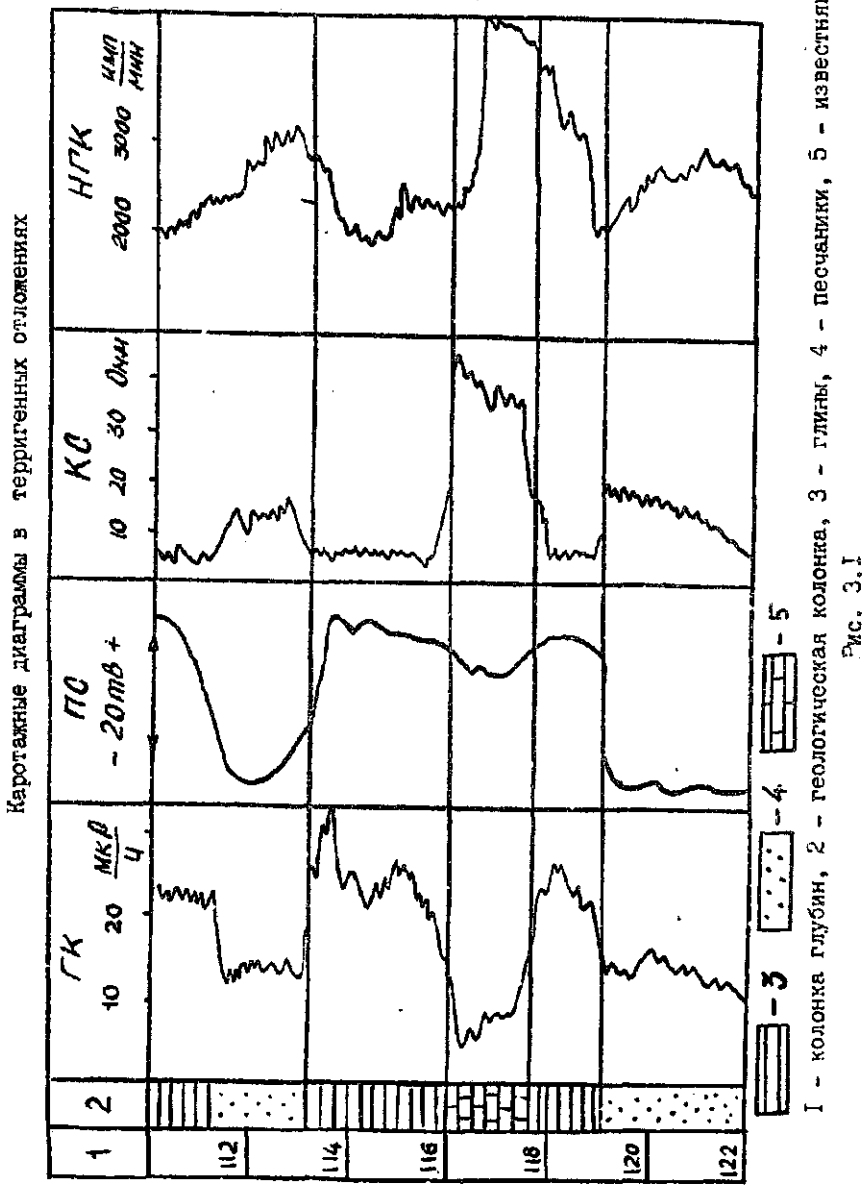
$$H(y) = \eta(0{,}45) + \eta(0{,}42) + \eta(0{,}13) = 0{,}5184 + 0{,}5256 + 0{,}3826 = 1{,}4266 \ бит$$

Апостериорная энтропия системы y, оставшаяся после выполнения измерений естественной радиоактивности горных пород, подсчитана ранее и равна $H(y/x) = 0{,}328 \ бит$.

Таким образом, информация о системе y, содержащаяся в системе x, равна

$$J_{x \to y} = 1{,}4266 - 0{,}328 = 1{,}0986 \ бит$$

Для сравнения геологической информативности различных геофизических методов удобно использовать понятие относительной информации, которая получается путем нормировки абсолютной информации к априорной энтропии системы типов горных пород y. Относительная информация, доставляемая измерением естественной радиоактивности горных пород, в рассматриваемом случае равна



Каротажные диаграммы в терригенных отложениях

1 – колонка глубин, 2 – геологическая колонка, 3 – глины, 4 – песчаники, 5 – известняки.

Рис. 3.1

$$J_{x\to y}/H(y) = \frac{1,0986}{1,4266}\cdot 100\% = 77\%$$

Затем подсчитывается относительная геологическая информативность других геофизических методов. В комплекс геофизических методов для решения задачи литологического расчленения горных пород, изображенных на рис 3.1, кроме гамма-каротажа /ГК/ входят методы электрического каротажа кажущегося сопротивления /КС/, потенциалов собственной поляризации горных пород /ПС/ и нейтронный гамма-каротаж /НГК/. Если в результате расчета относительная информация, доставляемая измерениями КС, ПС и НГК окажется выше, чем у метода ГК, то предпочтение отдается тому методу, у которого информативность при решении задачи литологического расчленения горных пород будет максимальной.

Удобство относительной информации заключается в том, что она не зависит от априорной энтропии системы горных пород.

3.2. Задание

Расчитать абсолютную и относительную геологическую информативность каротажа потенциалов собственной поляризации горных пород (ПС), каротажа кажущегося сопротивления (КС) и нейтронного гамма-каротажа (НГК) при расчлении терригенных горных пород, приведенных на рис. 3.1 . С этой целью определить априорную энтропию системы горных пород и апостериорную энтропию, возникающую после применения каждого метода в отдельности. Для определения вероятностей встречи горных пород j-го типа, вероятностей наблюдения физического поля в i-ом интервале значений и вероятностей одновременной встречи горных пород j-го типа и наблюдений физического поля в i-ом интервале значений использовать геометрическое определение вероятности. Сравнить относительные геологические информативности использованных геофизических методов и выделить наиболее информативный метод для решения задачи о литологическом расчлении горных пород по данным каротажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.- М.: Физматгиз, 1962.- 564 с.

Таблица 3.1

Таблица значений функции $\eta(p) = -p\log_2 p$

p	$\eta(p)$	p	$\eta(p)$	p	$\eta(p)$
0	0	0,34	0,5292	0,68	0,3784
0,01	0,0664	0,35	0,5301	0,69	0,3694
0,02	0,0664	0,36	0,5306	0,70	0,3602
0,03	0,1518	0,37	0,5307	0,71	0,3508
0,04	0,1858	0,38	0,5305	0,72	0,3412
0,05	0,2161	0,39	0,5298	0,73	0,3314
0,06	0,2435	0,40	0,5288	0,74	0,3215
0,07	0,2686	0,41	0,5274	0,75	0,3113
0,08	0,2915	0,42	0,5256	0,76	0,3009
0,09	0,3126	0,43	0,5236	0,77	0,2903
0,10	0,3322	0,44	0,5210	0,78	0,2796
0,11	0,3503	0,45	0,5184	0,79	0,2687
0,12	0,3671	0,46	0,5153	0,80	0,2575
0,13	0,3826	0,47	0,5120	0,81	0,2462
0,14	0,3971	0,48	0,5083	0,82	0,2348
0,15	0,4105	0,49	0,5043	0,83	0,2231
0,16	0,4230	0,50	0,5000	0,84	0,2112
0,17	0,4346	0,51	0,4954	0,85	0,1992
0,18	0,4453	0,52	0,4906	0,86	0,1871
0,19	0,4552	0,53	0,4854	0,87	0,1748
0,20	0,4644	0,54	0,4800	0,88	0,1623
0,21	0,4728	0,55	0,4744	0,89	0,1496
0,22	0,4806	0,56	0,4685	0,90	0,1368
0,23	0,4877	0,57	0,4623	0,91	0,1238
0,24	0,4941	0,58	0,4558	0,92	0,1107
0,25	0,5000	0,59	0,4491	0,93	0,0974
0,26	0,5053	0,60	0,4422	0,94	0,0839
0,27	0,5100	0,61	0,4350	0,95	0,0703
0,28	0,5142	0,62	0,4276	0,96	0,0565
0,29	0,5179	0,63	0,4199	0,97	0,0426
0,30	0,5211	0,64	0,4121	0,98	0,0286
0,31	0,5238	0,65	0,4040	0,99	0,0144
0,32	0,5260	0,66	0,3957	1,00	0
0,33	0,5278	0,67	0,3871		

4. Работа № 4. НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ, АНОМАЛИИ, ПОМЕХА

4.I. Общие сведения

При геологическом истолковании геофизических данных важное значение имеют понятия нормального поля, аномалии и помехи.

Под геофизической аномалией понимается отклонение физического поля от его нормальных значений. Нормальным полем считается геофизическое поле, обусловленное однородными по физическому параметру горными породами.

Нормальное поле может быть искусственным и естественным. Нормальное искусственное поле определяется полем заданного источника в однородной бесконечной среде. Нормальное естественное поле задается полем Земли.

В частности нормальное поле силы тяжести g_0 вычисляется по Ф.Гельмерту

$$g_0 = g_{экв}\left(1 + \beta_1 \sin^2\varphi + \beta_2 \sin^2 2\varphi\right) \qquad (4.1)$$

где $g_{экв}$ – значение силы тяжести на экваторе,
φ – широта местности,
β_1 и β_2 – константы по Ф.Гельмерту.

Аномалией считается уклонение измеренного значения g от нормального $\Delta g = g - g_0$ с поправкой за высоту точки наблюдения (аномалия Фая) и за промежуточный слой (аномалия Буге).

Нормальное магнитное поле T_0 является суммарным магнитным полем диполя Земли $T_д$, материков $T_м$ и космического пространства $T_е$

$$T_0 = T_д + T_м + T_е \qquad (4.2)$$

Аномалией считается уклонение измеренного магнитного поля T от нормального $\Delta T = T - T_0$. В настоящее время составлены подробные карты нормального магнитного поля (изодинамы) и градиента нормального поля (изопоры).

Аномалии делятся на региональные и локальные. В качестве модели поля принимается аддитивная модель, т.е. результаты измерений в i-ой точке f_i имеют вид

$$f_i = a_{i\,рег} + a_{i\,лок} + n_{i\,пом} \qquad (4.3)$$

где $a_{i\,рег}$ – региональная (фоновая) составляющая аномалии,
$a_{i\,лок}$ – локальная аномалия,
$n_{i\,пом}$ – помеха.

При разделении полей на региональную и локальную составляющие модель поля упрощается. При выделении региональной составляющей локальную составляющую относят к помехам

$$f_i = a_{i\,рег} + n_{i\,пом} \qquad (4.4)$$

При выделении локальной составляющей региональная составляющая относится к помехам

$$f_i = a_{i\,лок} + n_{i\,пом} \qquad (4.5)$$

При выделении аномалий действует принцип относительности. От крупных и мелких структурных единиц выделяются аномалии различных порядков. Поэтому часто используют понятие местного нормального поля, под которым понимают относительно спокойное поле, типичное в среднем для участка геофизической съемки.

При выделении локальных и региональных аномалий следует помнить, что локальная аномалия по своим линейным размерам в пять раз и более меньше изучаемой площади (профиля). Региональная аномалия по линейным размерам в пять раз и более превышает локальные аномалии.

По физико-геологической природе аномалии делятся на три группы. Одни связаны с месторождениями полезных ископаемых (рудные), другие с геологическими структурами, нарушениями, контактами (структурные), а третьи с глубинным строением Земли, земной коры (глубинные).

Под помехами понимаются факторы, осложняющие измерения геофизических полей и интерпретацию результатов измерений.

Помехи делятся на геологические, связанные с влиянием геологических неоднородностей или рельефом, и негеологические, связанные с вариацией геофизических полей во времени, случай-

щими токами и т.д.

Помехи бывают случайными и неслучайными. Случайные помехи обусловлены большим числом неконтролируемых факторов, действия каждого из которых незначительно. К неслучайным помехам относятся фоновые помехи и систематические расхождения.

Для выделения аномалий на фоне помех используются статистические критерии. Аномальными считаются точки, на которых амплитуда измеренного поля превышает уровень разрешенной изменчивости нормального поля. Уровень изменчивости характеризуется величиной общей дисперсии наблюденного поля $\mathcal{D}_o$, которая складывается из природной дисперсии $\mathcal{D}_z$, определяемой геологическими факторами, и дисперсии геофизической съемки $\mathcal{D}_c$, определяемой точностью измерений,

$$\mathcal{D}_o = \mathcal{D}_z + \mathcal{D}_c \qquad (4.6)$$

По определению $\mathcal{D} = \sigma^2$, где σ – среднеквадратическое отклонение случайной величины от ее математического ожидания. Поэтому выражение (4.6) можно переписать в виде

$$\sigma_o^2 = \sigma_z^2 + \sigma_e^2 \qquad (4.7)$$

где σ_o – общее среднеквадратическое отклонение наблюденного поля (стандарт),

σ_z – среднеквадратическая погрешность геологических помех,

σ_e – среднеквадратическая погрешность съемки

Если фоновые значения поля распределены по нормальному закону, нижний аномальный предел A_{min}, ограничивающий уровень разрешенных колебаний нормального поля, определяется соотношением

$$A_{min} = A_\varphi \pm 3\sigma_o \qquad (4.8)$$

где A_φ – среднее арифметическое частных значений нормального фона,

σ_o – общий стандарт наблюденного поля.

Если фоновые значения поля подчинены логнормальному

закону, нижний аномальный предел, ограничивающий уровень разрешенных колебаний нормального поля, определяется

$$A_{min} = A_\varphi \, \varepsilon^{\pm 3} \qquad (4.9)$$

где A_φ – среднее геометрическое частных значений нормального поля,

ε – стандартный множитель.

Фоновые значения могут превышать предел A_{min}. Однако вероятность этого равна 0,0028, а вероятность закономерной эволюции 0,9972.

Требования к уровню A_{min} могут быть снижены в случае коррелируемости точек с повышенными значениями поля по m профилям или при наличии m высоких значений подряд по профилю. При этом

$$A_{min} = A_\varphi \pm \frac{3\sigma_o}{\sqrt{m}} \quad (m \le 9) \qquad (4.10)$$

если фоновые значения распределены по нормальному закону и

$$A_{min} = A_\varphi \, \varepsilon^{\pm 3/\sqrt{m}} \quad (m \le 9) \qquad (4.11)$$

если фоновые значения подчинены логнормальному закону.

В требованиях (4.10) и (4.11) $m \le 9$, т.к. вероятность того, что 9 пикетов подряд в области нормального поля будут превышать нижний аномальный предел исчезающе мала. По теореме умножения вероятностей $P(A_\varphi > A_{min}) = 6 \cdot 10^{-3}$, т.е. высокие помехи одного знака, как независимые события маловероятны.

При планировании точности наблюдений следует руководствоваться следующими положениями.

Наблюдения с неоправданно высокой точностью ведут к увеличению затрат средств и времени, а недостаточная точность приводит к пропуску объекта.

Точность геофизической съемки определяется уровнем помех. При интенсивных помехах повышение точности измерений приводит к увеличению затрат труда и времени, но не дает желаемого ре-

зультата. Возрастает лишь фиктивная, кажущаяся, а не истинная точность.

Планирование точности наблюдений основано на трех параметрах: минимальной амплитуде аномалии, подлежащей обнаружению, или нижнем аномальном пределе A_{min}, среднеквадратической погрешности геофизической съемки σ_c, среднеквадратической погрешности геологических помех $\sigma_г$.

Нижний аномальный предел определяется путем решения прямой задачи для заданной физико-геологической модели (ФГМ) объекта поисков при наиболее неблагоприятных условиях от минимальных промышленных рудных тел или из опыта предшествующих геофизических работ.

Среднеквадратическая погрешность съемки оценивается по результатам повторных наблюдений и подсчитывается по формуле:

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (f_i^0 - f_i^n)^2}{2n}} \qquad (4.12)$$

где – f_i^0 и f_i^n – основной и повторный замеры,
n – число парных измерений.

Повторные наблюдения выполняются в пределах нормальных или фоновых значений в количестве 3–5% от числа основных замеров.

Среднеквадратическая погрешность геологических помех определяется из соотношения (4.7)

$$\sigma_г^2 = \sigma_o^2 - \sigma_c^2 \qquad (4.13)$$

Общая среднеквадратическая погрешность наблюдений определяется по разности N наблюденных значений f_i от их нормальных (фоновых) значений f_φ по формуле

$$\sigma_o = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (f_i - f_\varphi)^2}{N-1}} \qquad (4.14)$$

где f_φ – среднее арифметическое результатов измерений в нормальном поле, которое подсчитывается по формуле

$$f_\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_i}{N} \qquad (4.15)$$

Обычно точность наблюдений, методику работ и аппаратуру подбирают так, чтобы расчетная аномалия от заданной физико-геологической модели объекта поисков превышала нижний аномальный предел

$$A \geq A_{min} \geq A_\varphi \pm 3\sigma_o \qquad (4.16)$$

При выполнении геофизических работ возможны два случая, определяемые уровнем геологических помех.

Если уровень помех геологического происхождения мал $\sigma_c^2 \gg \sigma_г^2$, то разрешающая способность геофизической съемки σ_c определяется аппаратурой и методикой работ. В этом случае целесообразно применять высокоточную прецизионную аппаратуру. Например, высокоточная магниторазведка $\sigma_c = 1 \div 2$ нТл позволяет разделять слабомагнитные бокситы на фоне немагнитных известняков.

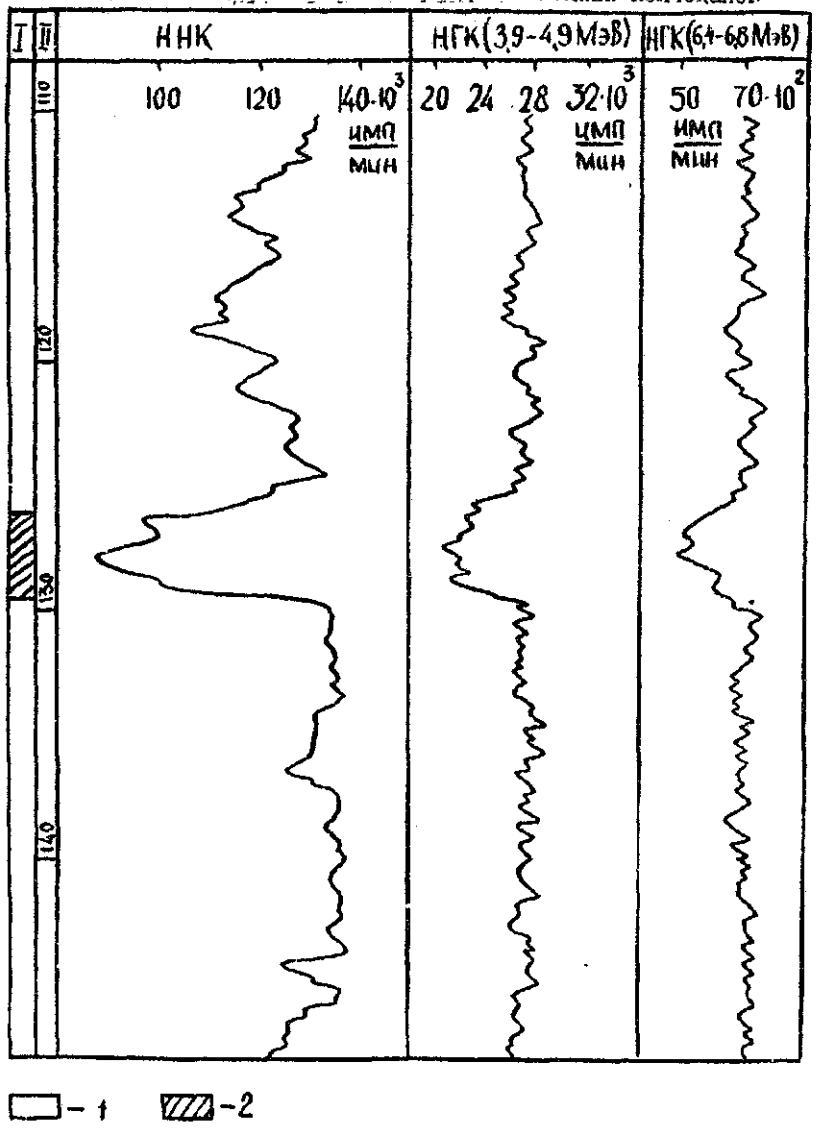
Если дисперсия геологических помех велика $\sigma_г^2 \gg \sigma_c^2$, то использовать прецизионную съемку не имеет смысла. Например, нецелесообразно применять высокоточную магниторазведку в горных районах из-за помех, связанных с рельефом местности.

В качестве примера рассмотрим результаты измерений в методе вызванных потенциалов. Путем измерений установлено, что $\sigma_c^2 = 0{,}12$, общая дисперсия наблюдений $\sigma_o^2 = 1{,}3$. При этом $\sigma_г^2 = \sigma_o^2 - \sigma_c^2 = 1{,}18$, т.е. дисперсия геологических помех велика $\sigma_г^2 \gg \sigma_c^2$ и повышение точности наблюдений нецелесообразно.

Для снижения дисперсии съемки σ_c^2 и дисперсии геологических помех $\sigma_г^2$ используются следующие приемы.

Дисперсия съемки зависит от порога чувствительности прибора, количества измерений на точке n с последующим усред-

Результаты ядерно-геофизических измерений по скв. 2428
Восточно-Семеновского месторождения медных колчеданов



1 – геологическая колонка; 11– глубина, м; 1 – серицито-кварцевая порода, 2 – медно-цинкорый колчедан

Рис. 4.1

нением $\overline{\sigma_c}^2 = \frac{\sigma_c^2}{n}$, и мешающих факторов, таких как вариации поля во времени, градиентов поля, установки и центровки прибора на точке и других. Поэтому снижение дисперсии съемки достигается с помощью более точной аппаратуры, методики работ и введения поправок за влияние мещающих факторов. Влияние каждого фактора оценивается отдельно при неизменности влияния остальных факторов.

Уменьшение дисперсии геологических помех достигается статистической обработкой исходных данных. Обычное осреднение в пределах окна из n точек позволяет уменьшить дисперсию геологических помех в n раз $\overline{\sigma_г}^2 = \sigma_г^2/n$. Кроме того помехи могут коррелировать между собой и отличаться от аномалий по частотной характеристике (по спектру). Поэтому, помехи геологического происхождения можно уменьшить путем соответствующих приемов обработки исходных данных (корреляционный и спектральный анализ).

4.2. Содержание задания

По данным ядерногеофизических измерений в скважине определить расположение вероятностей залежи медноколчеданной руды путем выделения аномальных значений регистрируемого нейтронного или гамма-поля. Полевые измерения проведены на Восточно-Семеновском месторождении медно-цинковых колчеданов нейтрон-нейтронным и нейтронным гамма-методом. Результаты измерений изображены в виде диаграмм нейтрон-нейтронного (ННК) и нейтронного гамма-каротажа (НГК) на рис.4.I и приведены в табл.4.I.

Измерения нейтронного поля выполнены по тепловым нейтронам в интегральном варианте. Нейтронные гамма-измерения выполнены в спектрометрическом варианте в области захватного гамма-излучения породообразующих элементов (3,9–4,9 *МэВ*) и в области рудных элементов (6,4–6,8 *МэВ*).

Для исследования скважин методом НГК использовалась аппаратура СГСЛ-2 и каротажный подъемник СК-I. Нейтронное поле создавалось с помощью Ро-Ве-источника мощностью $4 \cdot 10^7$ нейтрон/с. Методикой работ предусматривалось выполнение нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам. Для регистрации нейтронов использовался детектор типа ЛДНМ.

Наличие цинка и кадмия в медных рудах месторождений приводит к тому, что рудные интервалы выделяются минимумами скорости счета тепловых нейтронов и захватного гамма-излучения. Содержание породообразующих элементов определялось по скорости счета захватного гамма-излучения в области аналитических линий кремния 3,9–4,9 МэВ. Для определения содержания меди использовалась область спектра 6,4–6,8 МэВ.

Таблица 4.1

РЕЗУЛЬТАТЫ

ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО СКВАЖИНЕ № 2428

ГОСТОЧНО-СЕМЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ КОЛЧЕДАНОВ

Глубина м	Значения ННК, имп/мин		Значения НГК, (3,9–4,9 МэВ), имп/мин		Значения НГК (6,4–6,8 МэВ), имп/мин	
	основн.	повторн.	основн.	повторн.	основн.	повторн.
III	$129 \cdot 10^3$	$128 \cdot 10^3$	$27{,}0 \cdot 10^3$	$27{,}5 \cdot 10^3$	$73 \cdot 10^2$	$72 \cdot 10^2$
II2	I26	I26	26,5	26,8	68	70
II3	II9	I20	27,2	27,0	70	7I
II4	II3	II4	27,2	27,0	70	7I
II5	I20	II9	27,6	27,5	76	74
II6	I2I	I22	27,0	28,0	70	70
II7	II4	II4	26,0	27,0	73	72
II8	II3	III	27,0	26,0	75	74
II9	I09	III	28,0	27,0	68	70
I20	I22	I2I	27,0	27,0	73	72
I2I	II5	II5	27,8	27,6	70	70
I22	I23	I22	28,5	28,3	75	74
I23	I26	I25	26,0	26,0	70	72
I24	I27	I25	27,8	27,6	75	74
I25	I2I	I2I	26,0	26,0	70	70
I26	II0	I07	24,0	24,5	62	62
I27	97	98	22,0	22,5	52	50
I28	87	89	22,0	22,0	55	53
I29	I00	I02	22,0	21,5	60	6I
I30	I34	I34	27,5	27,4	78	76

Продолжение таблицы 4.I

Глубина м	Значения ННК, имп/мин		Значения НГК (3,9–4,9 МэВ), имп/мин		Значения НГК (6,4–6,8 МэВ), имп/мин	
	основн.	повт.	основн.	повторн.	основн.	повторн.
I3I	$133 \cdot 10^3$	$134 \cdot 10^3$	$27{,}0 \cdot 10^3$	$27{,}0 \cdot 10^3$	$74 \cdot 10^2$	$74 \cdot 10^2$
I32	I34	I34	26,7	26,5	72	72
I33	I35	I35	26,5	26,3	67	68
I34	I33	I34	28,0	27,5	68	68
I35	I30		27,8		72	
I36	I28		27,5		73	
I37	I34		28,0		70	
I38	I36		27,0		70	
I39	I35		27,5		72	
I40	I36		27,5		73	
I4I	I35		27,5		70	
I42	I36		27,0		75	
I43	I33		28,0		70	
I44	I30		28,0		72	
I45	I35		28,0		75	
I46	I28		27,0		73	
I47	I26		27,0		75	
I48	I20		27,5		68	
I49	I2I		28,0		73	
I50	I28		28,0		72	
I5I	I23		27,2		75	
I52	I29		26,5		70	
I53	I25		27,2		75	
I54	$118 \cdot 10^3$		$26{,}5 \cdot 10^3$		$72 \cdot 10^2$	

В таблице приведены результаты основных и повторных измерений нейтронного и гамма-поля при выполнении нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-каротажа. Результаты повторных наблюдений предназначены для оценки точности данных ННК и НГК.

Требуется выполнить следующее.

Скопировать на кальку диаграммы нейтрон-нейтронного каро-

тажа по тепловым нейтронам и нейтронного гамма-каротажа в интервалах энергий 3,9–4,9 МэВ и 6,4–6,8 МэВ. Оценить структуру поля. Выделить местное нормальное поле для каждой диаграммы каротажа, учитывая, что рудная залежь выделяется понижениями значения поля на диаграммах ННК и НГК.

Для каждой из наблюденных кривых вычислить значения общей среднеквадратической погрешности наблюдений σ_0, среднеквадратической погрешности съемки σ_c и среднеквадратической погрешности геологических помех $\sigma_г$ используя для этого соотношения (4.I4), (4.I2), (4.I3). Найти нижний аномальный предел для каждого вида ядерногеофизических измерений, используя для этого соотношение (4.8). Сопоставить уровень помех геологического происхождения с точностью геофизических наблюдений. Дать рекомендации о необходимой точности измерений в каждом методе и целесообразности увеличения точности для решения поставленной задачи.

По вычисленным значениям нижнего аномального предела выделить аномалии нейтронного и гамма-поля на диаграммах ННК и НГК. Дать геологическое истолкование выделенных аномалий.

5. Работа № 5. КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

5.I. Общие положения

Функция комплексного показателя (ФКП) применяется в тех случаях, когда объект исследований не создает устойчивых сигналов в полях разных методов, когда эти сигналы малы и сопоставимы с инструментальными и геологическими помехами. Способ предложен Г.С.Вахромеевым /I/. Суть способа заключается в составлении обобщенной функции комплексного показателя Q, которая представляет собой результат смешения сигналов разной природы, выраженных в цифровой форме.

Функция комплексного показателя служит для свертывания информации, полученной несколькими геофизическими методами, приведения наблюдений к уровню нормального поля, выделения слабых аномалий на фоне помех и разделения выявленных комплексных аномалий на перспективные и неперспективные.

Для определения ФКП необходимо предварительно перевести результаты всех частных методов в равноточные безразмерные величины показателей контрастности γ. Показатель контрастности j-го метода в i-ой точке подсчитывается по формуле

$$\gamma_{ji} = \frac{A_{ji} - \bar{A}_j}{S_j} \qquad (5.I)$$

где γ_{ji} – показатель контрастности j-го метода в i-ой точке,

A_{ji} – значение j-го измеренного признака в i-ой точке профиля,

$\bar{A}_j$ – среднеарифметическое (фоновое) значение j-го признака,

S_j – стандарт j-го признака, который подсчитывается по формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (A_{ji} - \bar{A}_j)^2}{n-1}} \qquad (5.2)$$

где n – число измерений j-го признака по профилю.

Преимуществом использования понятия контрастности в виде (5.I), когда значения сигнала нормируются по стандарту, является то, что значения показателя контрастности γ_{ji} распределены по закону Гауса с нулевым средним $\overline{\gamma_{ji}} = 0$ и единичным стандартом $S(\gamma_j) = I$.

Вид функции комплексного показателя выбирается над эталонным объектом по материалам натурного моделирования или исходя из физико-геологической модели искомого объекта так, чтобы добиться максимальной контрастности аномалий ФКП над объектом при одновременном подавлении аномалий ФКП над объектами-помехами.

В зависимости от формы и знака аномалий отдельных методов различают четыре возможных случая.

I. Полезные сигналы частных методов имеют одинаковую форму и одинаковый знак. В этом случае

$$Q_i = \sum_{j=1}^{\rho} \gamma_{ji} \qquad (5.3)$$

где Q_i – значение функции комплексного показателя в точке i профиля,

ρ – количество частных методик,

γ_{ji} – значение j -го частного метода в i -ой точке профиля в безразмерных величинах показателя контрастности.

Примером для рассматриваемого случая могут служить аномалии Δg и ΔZ над вертикально намагниченным шаром с избыточной плотностью, которые имеют сходный вид.

2. Полезные сигналы частных методов имеют примерно одинаковую форму, но различны по знаку, тогда

$$Q_i = \sum_{j=1}^{\rho} |\gamma_{ji}| \qquad (5.4)$$

Примером может служить положительная гравитационная аномалия и отрицательная аномалия естественного поля над залежью медной руды.

3. Полезные аномалии имеют примерно одинаковую форму и знак, но для некоторых методов наличие сигнала – не положи-

Пример обработки сигналов при подсчете ФКП над обводненным контактом двух горных пород

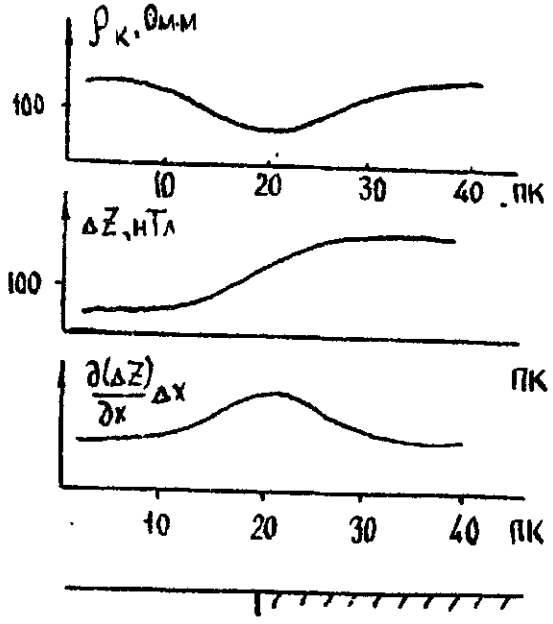


Рис. 5.1

тельный фактор контроля искомого объекта, а отрицательный. При этом

$$Q_i = \sum_{j=1}^{\rho} \gamma_{ji} - \sum_{k=1}^{q} \gamma_{ki} \qquad (5.5)$$

где ρ и q – число методов, аномалии которых являются, соответственно, положительными и отрицательными факторами контроля искомого объекта. Например, при поисках сульфидных кобальто-пиритовых зон, положительные аномалии ΔZ являются фактором неперспективности оруденения, так как связаны с дайками диабазов. Перевод магниторазведки в разряд негативных факторов подчеркивает комплексную аномалию над кобальто-пиритовыми рудами и одновременно подавляет неперспективные ореолы кобальта над дайками диабазов, которые в рассматриваемом случае относятся к разряду помех.

4. Полезные сигналы различны по форме и знаку. В этом случае один из сигналов обрабатывается так, чтобы в результате обработки его вид был сходен с видом других сигналов.

Например, контакт двух горных пород выделяется по данным электроразведки (СЭП) минимумом.

По данным магниторазведки (ΔZ) аномалия имеет вид ступени, рис.5.I. Для получения сходных кривых достаточно результаты магниторазведки графически продифференцировать

$$\Delta Z_x' = \frac{d(\Delta Z)}{dx} \Delta x$$

а затем перейти к расчету ФКП по формуле, соответствующей второму случаю (5.4)

$$Q = |\gamma_{\rho x}| + |\gamma_{\Delta Z_x'}|$$

Другим примером может служить мощный намагниченный пласт с избыточной плотностью. Он выделяется по данным гравитационной разведки положительной аномалией Δg.

По данным магниторазведки (ΔZ) аномалия имеет несимметричный вид с двумя экстремумами, рис.5.2. Для получения сходного вида кривых из аномалии ΔZ следует выделить кривую арктангенсов и после этого перейти к подсчету ФКП по формуле (5.3).

Пример обработки сигналов при подсчете ФКП над мощным наклонным вертикально намагниченным пластом с избыточной плотностью

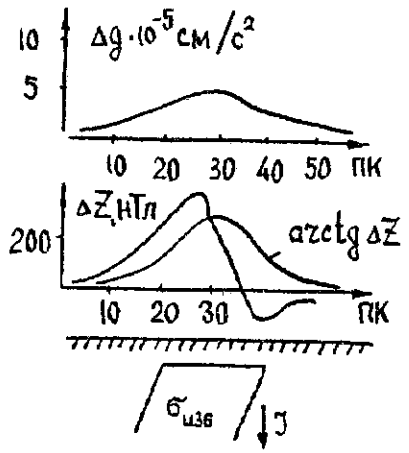
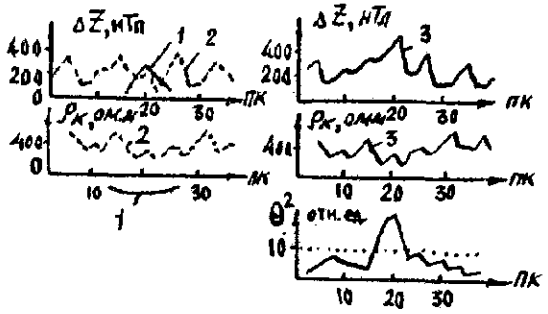


Рис. 5.2

Модельный пример использования ФКП в виде при поисках кимберлитовых тел в траппах /по Г.С.Рахромееву/



1 – вид искомой аномалии от кимберлитовых тел, 2 – график помехи, 3 – суммарный сигнал аномалии и помехи

Рис. 5.3

$$Q = \gamma_{\Delta g} + \gamma_{arctg\,\Delta Z}$$

Учет знака полезных сигналов можно осуществить также с помощью ФКП, заданной в виде квадратов контрастностей отдельных методов. При этом подсчет ведется по формуле

$$Q_i^2 = \sum_{j=1}^{m} \gamma_{ji} - \sum_{k=1}^{n} \gamma_{ki}^2 \qquad (5.6)$$

где m и n – число методов, аномалии которых являются, соответственно, положительными и отрицательными факторами контроля искомого объекта.

Значимость результата оценивается по критерию χ^2 (χ – квадрат). При $Q^2 > \chi^2$ аномалия Q^2 значима.

Возможности методики задания ФКП в виде квадратов контрастностей отдельных методов рассмотрены на модельном примере, рис.5.3, где решается задача поисков кимберлитовых тел в траппах по данным магниторазведки (ΔZ) и электроразведки ($\rho_к$). Согласно физико-геологической модели кимберлитовой трубки над ней ожидается положительная аномалия ΔZ и пониженное значение $\rho_к$. В каждом из методов отмечаются интенсивные помехи, превосходящие по величине аномалию от кимберлитовой трубки. На графике суммарного поля полезный сигнал визуально не обнаруживается. Расчет функции комплексного показателя в виде Q^2 дает в центральной части профиля отчетливую аномалию, надежно превышающую предельную величину χ^2-критерия, который при 2%-ном уровне значимости равен $\chi^2_{\alpha=0,02} = 9,8$. Аномалия ФКП в виде Q^2 позволяет локализовать местоположение кимберлитовой трубки.

Введем понятие показателя контрастности ФКП соотношением

$$\gamma_{Qi} = \frac{Q_i - Q_\phi}{S_Q} \qquad (5.7)$$

где γ_{Qi} – показатель контрастности ФКП в i-ой точке профиля, Q_i – значение ФКП в i-ой точке профиля, Q_ϕ – фоновое значение ФКП, S_Q – стандарт ФКП.

Значимость аномалий ФКП оценивается по нижнему аномальному

пределу $Q_a = 3S_Q$, где S_Q – стандартное отклонение ФКП.

Для аномалий коррелированных по n точкам или профилям ($n \leq 9$) нижний аномальный предел можно снизить. Он будет равен $Q_a = 3\sqrt{m/n}$.

Преимуществом использования ФКП является то, что контрастность аномалий ФКП существенно превышает контрастность отдельных методов. Амплитуда аномалий ФКП складывается из амплитуд аномалий отдельных методов. Она пропорциональна числу методов m, т.е. $Q \sim m$. Если значения сигналов отдельных методов представлены в виде показателей контрастности (5.I), то дисперсии их единичны, т.е. $D(\gamma_1) = D(\gamma_2) = D(\gamma_3) = \cdots D(\gamma_m) = 1$, где m – число методов. При этом дисперсия ФКП для некоррелированных признаков будет равна

$$D_Q = \sum_{i=1}^{m} D(\gamma_i) = m\,D(\gamma_i) = m$$

Откуда следует

$$S_Q = \sqrt{m} \qquad (5.8)$$

При подсчете ФКП показатели отдельных методов суммируются. Поскольку фоновые значения показателей контрастности отдельных методов равны нулю, то и сумма их равна нулю, т.е. фоновые значения ФКП равны нулю $Q_\phi = 0$.

При этом контрастность ФКП будет

$$\gamma_Q = \frac{Q - Q_\phi}{S_Q} = \frac{m}{\sqrt{m}} = \sqrt{m} \qquad (5.9)$$

Таким образом, контрастность аномалии ФКП в $\sqrt{m}$ раз больше, чем контрастность отдельных методов.

Например, обнаружен комплексный рудный ореол, содержащий медь, цинк и свинец. В условных единицах фоновые содержания свинца, цинка и меди составляют $Pb_\phi = 10$, $Zn_\phi = 20$, $Cu_\phi = 50$. Максимальные концентрации, соответственно, равны $Pb_{max} = 15$, $Zn_{max} = 30$, и $Cu_{max} = 65$. Стандартные отклонения примем равными единице $S_{Cu} = S_{Zn} = S_{Pb} = 1$. Подсчитаем контрастность суммарного ореола, если показатели контрастности отдельных измерений подсчитываются по формуле (5.I).

В рассматриваемом случае максимальные значения показателей контрастности отдельных измерений будут

$$\gamma_{Pb} = \frac{15-10}{1} = 5$$

$$\gamma_{Zn} = \frac{30-20}{1} = 10$$

$$\gamma_{Cu} = \frac{65-50}{1} = 15$$

Фоновые значения контрастностей отдельных измерений равны нулю. Максимальное значение ФКП суммарного ореола будет равно

$$Q_{max} = \gamma_{Pb} + \gamma_{Zn} + \gamma_{Cu} = 5 + 10 + 15 = 30$$

Фоновое значение ФКП суммарного ореола равно нулю $Q_{\phi} = 0$. Стандартное отклонение ФКП суммарного ореола будет

$$S_Q = \sqrt{S_{Pb}^2 + S_{Zn}^2 + S_{Cu}^2} = \sqrt{3}$$

При этом контрастность ФКП суммарного ореола равна

$$\gamma_Q = \frac{Q_{max} - Q_{\phi}}{S_Q} = 17$$

Таким образом, контрастность аномалии ФКП превышает значения контрастностей отдельных методов.

Контрастность аномалии ФКП можно повысить трансформацией исходных данных, например, подавлением высокочастотной помехи путем сглаживания методом среднего арифметического.

Если n числ точек в сглаживающем окне, то вычисление скользящего среднего уменьшает дисперсию фона в n раз.

Действительно, контрастность сглаженной аномалии будет

$$\tilde{\gamma}_{ji} = \frac{A_{ji} - \bar{A}_j}{\tilde{S}_j} \qquad (5.11)$$

где $\tilde{\gamma}_{ji}$ – сглаженные значения контрастности j-го метода в i-ой точке,

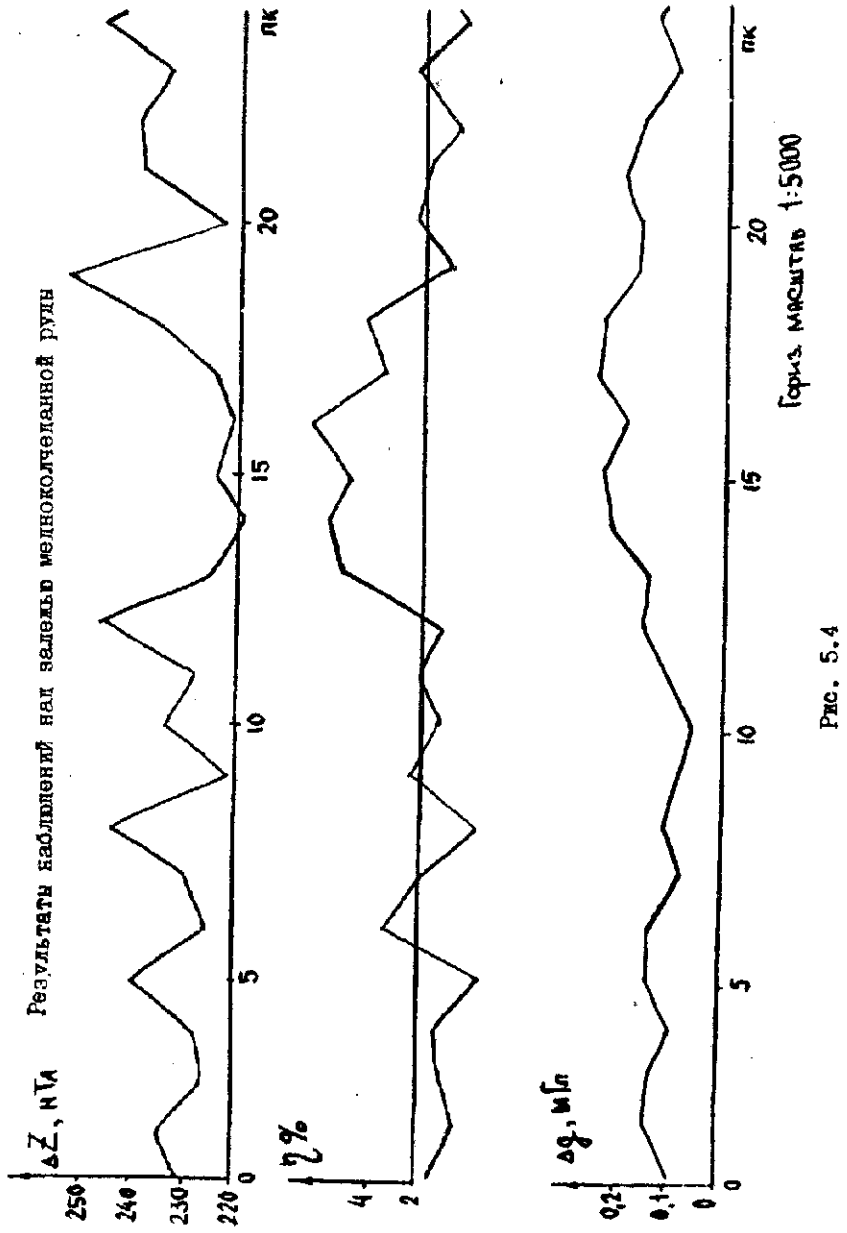


Рис. 5.4

$\tilde{S}_j$ - стандарт сглаженных значений контрастности, который связан со стандартом несглаженных значений соотношением

$$\tilde{S}_j = \frac{S_j}{\sqrt{n}} \qquad (5.12)$$

Подставляя (5.12) в (5.11) находим

$$\tilde{\gamma}_{ji} = \gamma_{ji}\sqrt{n} \qquad (5.13)$$

Таким образом, простое сглаживание измеренных значений по n точкам повышает контрастность аномалии в $\sqrt{n}$ раз.

ЗАДАНИЕ

Определить на профиле местоположение вероятной залежи медноколчеданной руды путем вычисления ФКП. Полевые измерения проводились тремя методами: магнитометрией, гравиметрией и электрометрией (метод вызванных потенциалов). Результаты наблюдений изображены в виде графиков на рис.5.4 и приведены в таблице 5.I. Из значений Δg и ΔT предварительно была исключена региональная составляющая.

Требуется определить структуру ФКП, учитывая следующие физико-геологические условия. Залеж медноколчеданной руды имеет форму круто-падающей линзы небольшой мощности до I5 метров в поперечнике, залегает внутри вулканогенной толщи и имеет первичный ореол сульфидной минерализации вдоль плоскости линзы. На участке залежи наблюдается повышение электропроводности и поляризуемости горных пород.

Руда представлена массивным медным и серным колчеданом. Минерал магнетита и пирротина в области залежи отсутствуют. Таким образом, зона рудной залежи характеризуется избыточной плотностью и относительным понижением магнитных свойств. Рудовмещающая толща покрыта рыхлыми осадками с переменной мощностью I0-20 м.

Необходимо вычислить значения показателя контрастности для каждого метода используя для этой цели данные таблицы 5.I. Оценить надежность выделения отдельных экстремумов наблюденных полей,

сравнив величины $(\Delta g_i - \bar{\Delta g})$, $(\Delta z_i - \bar{\Delta z})$ и $(\eta_i - \bar{\eta})$ со значениями тройного стандарта соответствующего метода. Экстремум можно считать надежной аномалией в том случае, если его амплитуда A превосходит величину тройного стандарта $A \geq 3\sigma$.

Определив структуры ФКП, подсчитать ее значение на всех пикетах профиля. Построить график ФКП по профилю. Указать на профиле положение предполагаемой залежи медноколчеданной руды, используя для оценки надежности выделения аномалии ФКП правило трех сигм. Для этого рассчитать и провести на профиле с результатами расчета ФКП линии тройного стандарта ФКП.

Таблица 5.I

Результаты наблюдения геофизических полей
по профилю на месторождении медных колчеданов

Пикеты	Значения ΔT, нТл		Значения Δg, мГл		Значения η, %	
	варианты		варианты		варианты	
	I	2	I	2	I	2
I	I0	2I	I,2	2,I	5	7
2	I3	23	0,7	I,8	2	5
3	5	I6	I,4	I,5	4	6
4	7	I5	0,5	I,4	5	8
5	20	30	2,2	3,I	0	3
6	5	I5	I,7	2,6	I0	I2
7	I0	20	I,0	2,0	6	8
8	25	35	I,7	2,7	I	3
9	2	I?	I,9	2,8	6	9
I0	I5	25	I,2	2,I	5	8
II	8	I8	2,2	3,2	6	9
I2	I4	24	2,3	3,4	9	I2
I3	5	I5	2,7	3,7	I5	I7
I4	0	I0	4,2	5,2	I6	I8
I5	4	I4	3,6	4,6	I4	I6
I6	I	II	5,7	6,6	I7	2I
I7	4	I4	3,2	4,2	I0	I3
I8	I5	25	I,9	2,9	I2	I5
I9	20	30	2,I	3,0	4	7
20	2	I2	I,7	2,7	7	I0
2I	20	30	I,5	2,5	6	9
22	20	30	I,7	2,7	3	6
23	I3	23	0,7	I,6	7	I0
24	26	36	2,I	3,2	2	5
25	5	I6	I,6	2,6	6	8
26	I6	28	I,0	I,I	2	6
27	I6	25	I,7	2,5	5	7

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексная интерпретация геофизических данных: учебное пособие / Ю. Б. Давыдов, А. Г. Талалай, И. Е. Шинкарюк. Урал. госуд. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 128 с.

2. Сапожников В. М. Комплексирование геофизических методов: учебное пособие/ Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 76 с.

3. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов: учебник. – М.: ВНИИгеосистем, 2012. – 346 с. Гриф УМО.

4. Долгаль А. С. Комплексирование геофизических методов: учебное пособие. – Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2012. – 167 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Проректор
комплексу
_____

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

КОМЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация

Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

форма обучения: **очная, заочная**

Автор: Вандышева К. В., к.г.-м.н.

Одобрена на заседании кафедры

Геофизики
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 01.09.2022
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

Геологии и геофизики
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Бондарев В.И.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 13.09.2022
(Дата)

Екатеринбург
2022

Для выполнения контрольной работы необходимо проработать материалы, полученные в процессе проведения производственной практики, рекомендуемую литературу.

ВВЕДЕНИЕ

Во введении должна быть дана четкая формулировка задания: местоположение участка работ (административная, географическая и геологическая привязка), цель, задачи для составления физико-геологической модели исследования, по данным полеченным в процессе прохождения производственной практики.

1. ГЕОГРАФО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА РАБОТ

Указывается административное положение района работ. Приводится краткая характеристика рельефа, климата, растительного и животного мира, населенности и путей сообщения, возможности найма рабочей силы на месте или их найма в другом районе. Приводится обзорная карта района работ. Этот раздел составляется по литературным источникам.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Указывается геолого-структурное положение района работ.

Данный раздел содержит подразделы: “Стратиграфия”, “Магматизм”, “Тектоника”, “Геоморфология и гидрогеология”, “Полезные ископаемые”. В них приводятся краткие сведения по стратиграфии с указанием состава пород и их мощности, сведения об интрузивных образованиях, тектонике. Подробно описываются рудовмещающие комплексы, гидротермальные и метасоматические процессы, отмечаются рудоконтролирующие факторы. Особо отмечаются процессы метаморфизма, которые обусловливают изменение физических свойств горных пород.

В подразделе «Полезные ископаемые» приводится характеристика месторождений и рудопроявлений всех полезных ископаемых, встреченных в данном районе работ, отмечается их приуроченность к определенным комплексам пород, структурно-тектоническим и металлогеническим зонам. Выделяются полезные ископаемые, на которые площадь проектируемых работ является наиболее перспективной, и более подробно описываются месторождения, типичные для этого полезного ископаемого.

Необходимо уделить особое внимание анализу поверхностных рыхлых отложений, поскольку они могут иметь переменную мощность, неоднородны по составу и часто вносят существенные искажения в геофизические поля.

Текст необходимо иллюстрировать обзорной картой. На карте следует указать положение участка работ. Так же в данной главе необходимо привести один геологической разрез, который берется за основу составления Физико-геологической модели исследования.

3. ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

На основании предоставленных с практики данных, геологических/геофизических отчетов прошлых лет, основываясь на справочные материалы дается характеристика по физическим свойствам горных пород.

Составляется упрошенная модель петрофизического разреза объекта исследований.

Физические свойства горных пород и полезных ископаемых района лучше описывать по их генетическим группам (осадочные, вулканогенно-осадочные, магматические и т. п.) Обязательно указываются источники, по которым приводятся данные по физическим свойствам, способы определения, представительность. Эти данные обычно приводят в виде таблицы. Если есть возможность, надо построить гистограммы или вариационные кривые и выполнить статистическую обработку. Наиболее наглядное представление о физических свойствах горных пород и полезных ископаемых дает диаграмма, которую надо обязательно построить. Для ее построения строится колонка, в которую включаются все горные породы района, и около нее – графики всех физических свойств.

Наличие различия физических свойств объекта и вмещающей среды еще не гарантирует возможности его обнаружения соответствующим геофизическим методом. Важное значение имеют и его геометрические параметры – форма, глубина от поверхности, элементы залегания, наличие мешающих геологических факторов (мощный слой приповерхностных рыхлых отложений, экраны из пород высокого сопротивления и т. д.). Поэтому для получения представления о возможностях геофизических методов необходимо дать комплексную **геолого-геофизическую характеристику объектов поисков**, включая их геометрические параметры, физические свойства и возможное влияние геологических помех.

4. ФИЗИКО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной главе должна быть построена **физико-геологическая модель объекта поисков** и для нее выполнено решение прямой задачи. Для оценки глубинности методов в условиях района прямую задачу следует решить для нескольких положений эрозионного среза. Для характеристики возможностей методов хорошо также привести результаты наблюдений над реальными объектами. Желательно также построить физико-геоло-гические модели для объектов, которые будут затруднять интерпретацию результатов (вызывать искажения, похожие на аномалии от объектов поисков или, маскировать их).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом раздела являются выводы о возможностях каждого геофизического метода в условиях района проектируемых работ

ЛИТЕРАТУРА

В данной главе описывается список использованной литературы при выполнении работы.

ОСОБЫЕ УКАЗАНИЯ

По мере написания контрольной работы расставляются ссылки на литературу (в квадратных скобках в конце цитируемого текста [1], что соответствует номеру в списке литературы)

В конце каждой главы должна быть дана самостоятельная оценка приведенной в главе информации.

В работе обязательно излагается цель проекта, задачи (введение), описывается теория, приведена характеристика, рассматриваются примеры, если нужно приво-

дится сравнительная характеристика, излагается самостоятельный анализ материала, сделаны выводы (заключение)

Работа выполняется шрифтом Times New Roman (12 ил 14) отступы с каждой стороны по 2 см, 1 см на “красную строку”.

Рисунки располагаются после упоминания в тексте (рис.1):



Рис.1. Название рисунка

Таблицы располагаются после упоминания в тексте (табл.2)

Таблица 2

Название таблицы

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Н. В. Блинкова, К. В. Вандышева

ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА)

Методические рекомендации
по производственной практике,
по составлению отчета для студентов специальности
21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций
«Геофизические методы исследования скважин (ГИС)» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)»

Екатеринбург
2020

Б69

Рецензенты: *Писецкий В. Б.,* д-р геол.-мин. наук, профессор кафедры геоинформатики Уральского государственного горного университета;
Иголкина Г. В., д-р геол.- мин. наук, профессор кафедры геофизики Уральского государственного горного университета.

Блинкова Н. В., Вандышева К. В.

Б69 ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА): методические рекомендации по производственной практике, по составлению отчета для студентов специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций «Геофизические методы исследования скважин» (ГИС) и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)». 2-е издание, дополненное / *Н. В. Блинкова, К. В. Вандышева*; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 24с.

Методические рекомендации содержат цели и задачи производственной практики, включающих в себя выработку навыков производственного труда, знакомства с техникой, геофизической аппаратурой, методикой работ. Даются необходимые рекомендации по руководству и организации практики от университета и от предприятия.

Для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки специализаций «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» и «Геофизические методы исследования скважин»

© Блинкова Н. В.,
Вандышева К. В., 2010, 2018
© Уральский государственный
горный университет, 2010, 2018

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
Факультета геологии и геофизики УГГУ
_____2018 г.
Председатель комиссии
_____проф. Бондарев В. И.

Н. В. Блинкова, К. В. Вандышева

ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА)

Методические рекомендации
по производственной практике,
по составлению отчета для студентов направления
21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций
«Геофизические методы исследования скважин (ГИС)» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)»

2-е издание, дополненное

Издание УГГУ Екатеринбург, 2018

Оглавление

Введение…… 4
1. Организация и руководство практикой……. 5
1.1. Организация практики……. 5
1.2. Руководство практикой…… 6
1.2.1. Руководство практикой от университета…….. 6
1.2.2. Руководство практикой от предприятия……... 6
2. Обязанности и права студентов…….. 10
2.1. Обязанности студента…….. 10
2.2. Права студентов…… 12
3. Цели и задачи практики……... 14
3.1. Цель практики……... 14
3.2. Задачи практики…… 14
4. Структура и содержание отчёта……. 15
5. Основные требования к оформлению отчета…… 19
6. Перечень документов, необходимых
при отъезде на практику…….. 21
7. Содержание практики…….……. 21
Рекомендуемая литература……. 23

ВВЕДЕНИЕ

Производственная практика является ответственным этапом в подготовке горных инженеров-геофизиков. Данная программа предусматривает выработку у студентов навыков производственного труда и преобретения профессии, необходимой для инженерной деятельности, закрепления знаний по общеинженерным и специальным дисциплинам и является неотъемлемой частью всего учебного процесса.

Цели, задачи, содержание, объем практик и их название определяются требованиями федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) по направлениям подготовки ВО, программами практик, разработанных с учетом специфики подготовки обучающихся. Цель практики заключается в формировании профессиональных навыков через закрепление, расширение, углубление и систематизацию знаний, полученных студентами в процессе теоретического обучения, проверке профессиональной готовности будущего специалиста к самостоятельной трудовой деятельности и приобретение профессионального опыта. Задачи практики определяются в рабочих программах практик и индивидуальных заданиях, разработанных кафедрами университета ответственными за проведение практики (с учетом специфики и уровня подготовки специалиста).

1. ОРГАНИЗАЦИЯ И РУКОВОДСТВО ПРАКТИКОЙ

1.1. Организация практики

Производственная практика студентов четвёртого курса проводится в геологоразведочных организациях (партиях, экспедициях и частных компаниях), а также научно-исследовательских и проектных организациях геолого-разведочного профиля.

Для успешного проведения производственной практики студентам необходимо знать определённые разделы из цикла предшествующих дисциплин. Из дисциплины «Геофизические методы исследования скважин», оборудование для выполнения спуско-подъёмных операций, геофизические цифровые станции для регистрации данных каротажа, технику и методику работ при выполнении определённых геофизических методов, теорию этих методов. Из дисциплины «Аппаратура геофизических исследований скважин», «Электронные измерительные устройства» необходимо студентам знать устройство скважинных приборов, устройство регистраторов и станций на уровне блок-схем. Из курса «Физика горных пород» – основные физические и физико-механические характеристики горных пород, классификацию горных пород, рудных и нерудных минералов по их способу образования, а так же классификации по буримости.

Из курса «Разведочная геофизика» основные методы разведки и их практической применение.

Из курса наземных методов разведки указываются предпосылки проведения работ, последовательность выполнения разными ме-

тодами, и их взаимодействие, типовой и рациональный комплекс геофизических работ. Определение масштаба съемки, обоснование сети наблюдения, точности и способа ее определения, выбор аппаратуры. Описание последовательности обработки, методики интерпретации результатов наблюдений каждым методом и способ представления полученных данных.

1.2. Руководство практикой

1.2.1. Руководство практикой от университета

Руководитель практики студентов от университета:

– обеспечивает проведение всех организационных мероприятий перед выездом студентов на практику (проводят собрание студентов и инструктаж по вопросам проведения практики, проверяют обеспеченность студентов программами, дневниками, а так же индивидуальным заданиями);

– проводят общий инструктаж по вопросам техники безопасности на практике и дисциплины в пути следования на место практики и обратно;

– обеспечивает высокое качество прохождения практики студентами в соответствии с программой практики, контролирует обеспечение студентов рабочими местами.

1.2.2. Руководство практикой от предприятий

Ответственность за прохождение практики на предприятии возлагается на руководителя предприятия. Непосредственное руководство практикой студентов в структурных подразделения пред-

приятий возлагается приходом руководителя предприятия на высококвалифицированных специалистов.

Предприятие обязано обеспечить студентов во время прохождения производственной практики оплачиваемыми рабочими местами в соответствии с программой практики, создать необходимые условия для усвоения студентами знаний о новой технике, новой аппаратуре, новых методах, передовой технологии, современных вопросов экономики и передовых методов организации труда.

Руководители практики организуют проведение обязательных инструктажей по охране труда и технике безопасности (вводного и на рабочем месте) с оформлением соответствующей документации. Безопасные условия труда и обучения проводятся в соответствии с «Порядком обучения по охране труда и проверке знаний требований охраны труда работников организаций», утвержденные Министерством образования Российской Федерации и Министерством труда и социального развития от 13.01.2003 №1/29 «Об утверждение порядка обучения по охране труда и проверке знаний требований по охране труда работников организаций».

Руководители практики обязаны обеспечить студентов (учащихся) на время прохождения практики спецодеждой, спецобувью и предохранительными приспособлениями в соответствии с трудовым кодексом Российской Федерации и постановлением Министерства труда Российской Федерации от 01.06.2009 № 290 н (в редакции от 12.01.2015) «об утверждений правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами инди-

видуальной защиты», девствующей в части, непротиворечащей трудовому кодексу Российской Федерации.

Предприятие несёт полную ответственность за несчастный случай, происшедший со студентами во время прохождения ими практики.

Руководители предприятий могут выносить в случае необходимости в приказном порядке, взыскания студентам-практикантам, нарушающим правила внутреннего распорядка, и сообщать об этом в университет.

Руководители практики должны создать необходимые условия для выполнения студентами (учащимися) программы производственной практики. Не допускать использования студентов на работах, не предусмотренных программой прохождения практики и не имеющих отношения к профессии (специальности) студентов.

Руководитель от предприятия, осуществляющий общее руководство практикой:

– знакомит студентов с организационной структурой предприятия и основными направлениями его работ;

– совместно с руководителем практики от университета организует и контролирует проведение практики в соответствии с программой и согласованным календарным графиком прохождения практики;

– организует экскурсии по предприятию и на другие объекты (скважины);

– вовлекает студентов в научно-исследовательскую и рационализаторскую работу.

Руководители обязаны предоставить студентам возможность пользования лабораториями, мастерскими, кабинетами (библиотекой), технической и другой документацией в подразделениях предприятия для успешного освоения студентами программы производственной практики и выполнения индивидуальных занятий.

Руководители от предприятия должны обеспечить иногородних студентов койко-местом в общежитии в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями на время прохождения производственной практики с оплатой по установленным нормам.

Руководители должны осуществлять контроль за соблюдением студентами мер пожарной безопасности.

Руководители практики должны обеспечить табельный учёт выхода на работу студентов, дать характеристику о работе каждого студента и заключение о качестве подготовленного ими отчёта.

Руководители практики должны производить оплату и стимулирование труда студентов, зачисленных на вакантные рабочие места (должности), в период прохождения производственной практики по выполняемой работе в соответствии с трудовым кодексом Российской Федерации, локальными нормативными актами, действующими в обществе, и договорами образовательных учреждений на проведение производственной практики, заключаемых с обществом.

Руководители структурных подразделений в праве отстранять студентов от дальнейшего прохождения практики и досрочно отправить студента в расположение образовательного учреждения в случае грубого нарушения ими требований, правил, предписаний и инструкций по охране труда и технике безопасности, предусмотренных

трудовым кодексом Российской Федерации и иными нормативно трудовыми актами, действующими в части не противоречащими трудовому кодексу Российской Федерации.

Во время проведения производственной практики руководители практики должны предоставлять работникам, зачисленным на вакантные рабочие мечта (должности) гарантии компенсации, предусмотренные трудовым законодательством Российской Федерации.

Кроме того руководители практики должны знакомить студента с организацией работ на конкретном рабочем месте; помогать студентам правильно выполнять все задания, овладевать навыками производственной работы и рабочими профессиями, получать необходимые материалы для составления отчётов по практике; контролировать ведение дневников, подготовку отчётов по практике, составлять производственные характеристики об отношении студентов к работе, их деловые качества, а так же их участие в общественной жизни предприятия.

2. ОБЯЗАННОСТИ И ПРАВА СТУДЕНТОВ

2.1. Обязанности студентов

До отъезда на практику, студент должен знать какая кафедра и кто из её преподавателей руководит практикой, знать место и адрес прохождения практики; получить на кафедре, осуществляющей руководство практикой, путёвку-удостоверение, программу практики и пройти общий инструктаж по вопросам техники безопасности; изучить программу практики и маршрут следования к месту практики, сдать книги в библиотеку и своё место в общежитии, оформить об-

ходной лист и сдать его на кафедру; студентам, обучающимся платно оплатить обучение и оформить это в бухгалтерии.

Своевременно, но не позднее, чем за день до начала практики выехать на предприятие-базу практики имея при себе, кроме документов необходимых для прохождения практики, студенческий билет, трудовую книжку (если она имеется) и фотографии для пропуска. Желательно руководителю предприятия сообщить по телефону о своём выезде, вид транспорта, время прибытия.

По прибытию на место студент обязан явиться к руководителю предприятия и получить указания по прохождению практикой, договориться о времени и месте получения консультаций.

До начала работы на штатной должности студент должен пройти производственный инструктаж, организуемый предприятием, с обязательным изучением правил техники безопасности и охраны труда, правила работ с радиоактивными источниками и взрывными веществами (при работе на радиоактивных методах каротажа и перфорации скважин), а также действующих на предприятии правил эксплуатации оборудования.

В период прохождения практики студенты обязаны:

– полностью выполнять задание, предусмотренное программой практики, строго соблюдая сроки прохождения практики;

– подчиняться действующим на предприятии правилам внутреннего трудового распорядка;

– нести ответственность за выполненную работу и её результаты наравне с работниками предприятия;

– овладеть навыками производственной работы, сдать квалификационный экзамен по профилю выполненной работы;

– регулярно вести дневник, отражающий ежедневную работу, составить отчёт;

– чётко выполнять рекомендации и указания руководителей от университета и предприятия.

По окончании практики студентам необходимо сдать пропуск, техническую и художественную литературу, спецодежду, место в общежитии, предварительно отметив на предприятии, взять с собой отчёт по практике, путёвку-удостоверение, характеристику, удостоверение о получении квалификации, трудовую книжку и прибыть в университет в установленный срок (путёвка и характеристика подписываются руководителем предприятия и скрепляются печатью, отчёт по практике подписывается руководителем практики).

По возвращении путевка, отчёт и характеристика сдаются студентом на кафедру для проверки.

2.2. Права студентов

В соответствии с программой практики, предприятие обеспечивает их оплачиваемыми рабочими местами.

После зачисления студентов на оплачиваемые рабочие места и должности, на них распространяется трудовое законодательство Российской Федерации, правила охраны труда и внутреннего распорядка, действующего на данном предприятии, выплачивается компенсация за очередной отпуск по нормам, установленным, для данной профессии (должности).

Во время прохождения практики за студентами независимо от получаемой заработной платы, сохраняется право на получение стипендии, если студент её ранее получал.

На студентов, не имеющих стажа работы, заводится трудовая книжка, в которой делается соответствующая запись.

Студентам, зачисленным на платные должности в геологических партиях и экспедициях, получающим заработную плату и полевое довольствие или бесплатное питание, выплата суточных денег не производится.

Проезд студентов к месту практики и обратно средствами городского, пригородного и местного транспорта, независимо от места практики, оплачивается студентами за свой счёт.

Студенты за время прохождения практики пользоваться бесплатно защитной одеждой, спец обувью, и индивидуальными средствами защиты по нормам, установленными для соответствующих работников данного предприятия.

Предприятие обеспечивает студентов общежитиями на условиях, предоставляемых постоянным работникам.

Студенты имеют право пользоваться на предприятиях по месту прохождения практики литературой, инструкциями, получать консультации специалистов по программе практики и помощь в подборе материалов для отчётов о практике, курсовых и дипломных проектов.

3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ

3.1. Цель практики

Целью практики является реализация на производстве и закрепление теоретических знаний, получаемых студентом в процессе обучения; практическая работа по специальности и овладение профессией, отбор и накопление материала, необходимого для выполнения дипломного проекта или дипломной работы; изучение и приобретение опыта руководства структурным подразделением; активное ознакомление с технологией производственного процесса, знакомство с новыми методиками и техническими средствами, а также проверка деловых качеств студентов в производственных условиях.

3.2. Задачи практики

В задачи практики входит:

– формирование профессиональных навыков путём активного участия в производственном процессе;

– приобретение практических навыков самостоятельной работы в должности рабочего;

– закрепление профессиональных знаний и их повышение при прохождении практики;

– приобретение опыта эксплуатации и ремонта оборудования, используемого в партиях и экспедициях;

– изучение конкретных производственных заданий и технико-экономических показателей их выполнения;

– освоение способов интерпретации результатов наблюдений;

– изучение организации труда.

Студент должен постоянно фиксировать свои достижения в специальном дневнике. В дальнейшем все собранные материалы и наблюдения должны быть изложены в отчёте по производственной практике.

Перечень дисциплин с указание разделов, усвоение которых необходимо для прохождения практики.

Для успешного прохождения производственной практики студентам необходимо знать определённые разделы цикла предшествующих дисциплин в соответствии с учебным планом. Из дисциплины « Геофизические методы исследования скважин » теорию методов электрического каротажа, радиоактивного каротажа и методов контроля за техническим состоянием скважин.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Важнейшим этапом прохождения производственной практики является составление отчёта. По отчёту оценивается качество выполнения программы практики. Все собранные материалы являются основой дипломного проекта или дипломной работы.

Любые методические материалы должны быть подкреплены рисунками, таблицами, картами физических полей, блок-схемами, диаграммами.

Студент должен подготовить список используемой литературы, отчётов, инструкций. В отчёте должны быть ссылки на фондовые материалы.

Составление дипломного проекта или дипломной работы является заключительным этапом обучения студентов в УГГУ, дипломный проект является квалификационной работой, подготовка и успешная защита которой в ГЭК (Государственная аттестационной комиссией) служит основанием для присвоения выпускнику университета звания горного инженера – геофизика. Поэтому сбор материалов на практике должен соответствовать следующему перечню разделов:

– для специализации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ»:

Введение

1. Общие сведения о районе работ (приложением должна быть выкопировка из географической карты, с указанием места работ)
2. Геологическое строение района и участка работ
3. Физические и геологические предпосылки для постановки геофизических работ
4. Построение физико-геологической модели (обобщенную ФГМ можно представлять в виде совокупности частных моделей: геологической, петрофизической и физических полей в профильном, плоскостном или объемном варианте)
5. Анализ геофизических работ, проведенных в районе
6. Методика и техника проектируемых работ
7. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и охрана окружающей среды
8. Перечень, объём и условие производства проектируемых работ

Заключение

Список использованной литературы;

– для специализации «Геофизические методы исследования скважин»:

Введение

1. Общие сведения о районе работ (приложением должна быть выкопировка из географической карты, с указанием места работ)
2. Геологическое строение района и участка работ
3. Физические и геологические предпосылки для постановки геофизических работ
4. Анализ геофизических работ, проведенных в районе
5. Особенности бурения, конструкция скважины
6. Методика и техника проектируемых работ
7. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и охрана окружающей среды
8. Перечень, объём и условие производства проектируемых работ

Заключение

Список используемой литературы.

Студенту необходимо приложить к отчёту каротажные диаграммы, геологическую карту и разрез, чертежи, схемы, графики, таблицы, карты геофизических полей.

Тема должна быть выбрана студентом под руководством квалифицированного специалиста от предприятия или с помощью преподавателя кафедры.

Возможные темы:

– для специализации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ»:

– «Проект геофизических работ с целью поисков золото-сульфидных месторождений в конкретном районе (регионе)»;

– «Проект геофизических работ в помощь геологическому картированию масштаба 1:50 000 при доизучении конкретной площади (участке работ)»;

– «Проект инженерно-геофизических исследований для геологического обеспечения проектирования строительства объекта (указать какого)».

– для специализации «Геофизические методы исследования скважин»:

– «Определение профиля притока и приемистости»;

– «Определение фильтрационно-ёмкостных свойств пластов - коллекторов»;

– «Оценка технического состояния скважины»;

– «Оценка нефтенасыщенности коллекторов»;

– «Новые технические средства для ГИС»;

– «Методы исследования горизонтальных скважин».

Руководитель практики, выделенный производственной организацией, должен постоянно консультировать студента, следить за качеством собранного материала.

В дальнейшем эту роль берёт на себя руководитель дипломного проектирования.

На написание отчёта даётся две недели от начала учебных занятий в осеннем семестре.

5. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должна оформляться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к техническим рукописям. Текст располагает на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Рекомендуется шрифт 14 Times New Roman расстоянием между строками 1,5 интервала. Поля сверху, снизу и справа не менее 20 мм, слева – не менее 30 мм. Отступ абзаца 10 мм.

Страницы нумеруют подряд, включая рисунки и таблицы. Отсчет страниц начинают с титульного листа, но номер в первый раз проставляет на первой странице введения.

Нумерация рисунков, таблиц, формул сквозная, арабскими цифрами. Их помещают после первого упоминания на той же или на следующей странице. Подрисуночную подпись помещают ниже рисунка. Она включает номер рисунка (например, «Рис. 3») и далее его название. С новой строки помещают необходимые пояснения. Название рисунка набирают шрифтом меньшим, чем шрифт основного текста. Рисунок и подрисуночную подпись сверху и снизу отделяют от текста интервалами. Ссылки на рисунки делают в круглых скобках (например, (рис. 3)), при повторных ссылках добавляет сокращенное слово «смотри» (например, (см. рис. 3)).

Содержание таблиц также набирает более мелким шрифтом. Над таблицей помещают ее название, а над названием справа – слово "Таблица" и ее номер (знак «№» не пишут). Ссылки на таблицы делают так же, как на рисунки.

Слова в тексте пишут полностью, допускаются только общепринятые в технической литературе сокращения. Следует использовать термины и обозначения различных величин принятые в технической литературе. При первом использовании какого-либо обозначения следует пояснить его значение. Греческие буквы набирают прямым шрифтом, латинские – курсивом, за исключением математических (sin, ln и т .п.) и химических символов, которые набирают прямым шрифтом.

Заголовки разделов пишут заглавными буквами жирным шрифтом и располагают посредине листа. Разделы нумеруют арабскими цифрами (слово «глава» обычно не пишется). Подразделы нумеруют двумя цифрами через точку, указывающими номер раздела и номер подраздела в нем.

В конце текстовой части приводят список литературы. Список составляют в алфавитном порядке. Сначала указывают печатные источники, затем фондовые. Описание литературных источников делают в соответствии с установленными правилами. Ссылки на литературу в тексте делают путем указания номера источника по списку в квадратных скобках (например [7]). При использовании заимствованных рисунков, таблиц ссылка на источник или автора обязательна.

Графические приложения выполняют на стандартных листах формата А1. При необходимости можно использовать листы других стандартных форматов.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ НЕОБХОДИМЫЙ ПРИ ОТЪЕЗДЕ НА ПРАКТИКУ

1. Паспорт.
2. Военный билет или приписное свидетельство.
3. Страховой полис.
4. Страховое свидетельство.
5. ИНН (идентификационный номер налога плательщика).
6. Трудовая книжка, если она есть.
7. Медицинская справка.
8. Путёвка от кафедры.
9. Справка первого отдела.
10. Два фото размером 3×4 см.

Перед получением путёвки студент на кафедру должен сдать обходной лист.

7. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКИ

Производственную практику на предприятиях занимающихся ГИС, проходят студенты специализации «Геофизические методы исследования скважин», избравшие для курсового и дипломного проектирования тематику разнообразных методов, методик, технологии исследования скважин.

На практику в геологоразведочные организации отправляются студенты специализации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ», избравшие для курсового и дипломного проектирования

тематику разнообразных методов, методик, технологии проведения геофизических методов разведки.

Производственная практика позволит студенту проявить свои деловые и профессиональные качества и обеспечить место для дальнейшей работы после окончания университета.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Возженников Г. С., Белышев Ю. В*. Радиометрия и ядерная геофизика: Учеб. пос. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. – 406 с.

2. *Геофизические методы разведки рудных месторождений:* справочник / под ред. В. В. Бродового. – М.: Недра, 1990. – 296 с.

3. *Горбачев Ю. И.* Геофизические исследования скважин: учебник для вузов / под. ред. Е. В. Каруса. – М.: Недра, 1990. – 398 с.

4. *Гравиразведка: справочник геофизика* / под ред. Е. А. Мудрцовой и К. Е. Веселова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 607 с.

5. *Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Резванов В. А. и др.* Промысловая геофизика: учебник для вузов / под. ред. В. М. Добрынина. – М.: Недра, 1986. – 342 с.

6. *Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С.* Общий курс геофизических исследований скважин: учебник для вузов. 2-е изд. перераб. – М.: Недра, 1984. – 432 с.

7. *Инструкции по гравиметрической разведке*. – М.: Недра, 1975. – 88 с.

8. *Инструкции по магниторазведке:* наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка / под ред. Ю. С. Глебовского и В. Е. Никитского. – Л.: Недра, 1981.

9. *Инструкции по сейсморазведке*. М.: Недра, 1985.

10. *Инструкции по электроразведке:* наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, морская электроразведка / М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1984. – 352 с.

11. *Кузнецов Г. С., Леонтьев Е. И., Резванов Р. А.* Геофизические методы контроля разработки нефтяных и газовых месторождений: учебник для вузов. – М.: Недра, 1991. – 223 с.

12. *Кассин Г. Г.* Геофизические методы на региональном этапе геологоразведочного процесса. – Екатеринбург: УГГА, 1996. – 104 с.

13. *Магниторазведка:* справочник геофизика / под. ред. В. Е. Никитского и Ю. С. Глебовского. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 470 с.

14. *Молчанов А. А., Лукьянов Э. Е., Рапин В. А.* Геофизические исследования горизонтальных нефтегазовых скважин: учебное пособие. – Спб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), 2001. – 298 с.

15. *Рудные месторождения СССР* / под ред. В. И. Смирнова. Том 3. – М.: Недра, 1974. – 392 с.

16. *Сапожников В. М.* Комплексирование геофизических методов: учебное пособие / Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 76 с.

17. *Сковородников И. Г.* Геофизические исследования скважин: Учеб. пос. для вузов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 456 с.

18. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых*: справочник геофизика / под ред. Н. Б. Дортман. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 456 с.

19. *Электроразведка:* Справочник геофизика. В двух книгах / под. ред. В. К. Хмелевского и В. М. Бондаренко 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 438 и 278 с.

Учебное издание

БЛИНКОВА НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА
ВАНДЫШЕВА КСЕНИЯ ВАСИЛЬЕВНА

ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА)

Методические рекомендации
по производственной практике, по составлению отчета
для студентов направления
21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций
«Геофизические методы исследования скважин (ГИС)» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)»

2-е издание, дополненное

Редактор В. В. Баклаева
Компьютерная верстка К. В. Вандышевой

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60×811/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. Уч. – изд. л. Тираж 100. Заказ 1,25

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Н. В. Блинкова, К. В. Вандышева

ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА)

Методические рекомендации
по производственной практике,
по составлению отчета для студентов специальности
21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций
«Геофизические методы исследования скважин (ГИС)» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)»

Екатеринбург
2020

Б69

Рецензенты: *Писецкий В. Б.,* д-р геол.-мин. наук, профессор кафедры геоинформатики Уральского государственного горного университета;
Иголкина Г. В., д-р геол.- мин. наук, профессор кафедры геофизики Уральского государственного горного университета.

Блинкова Н. В., Вандышева К. В.

Б69 ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА): методические рекомендации по производственной практике, по составлению отчета для студентов специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций «Геофизические методы исследования скважин» (ГИС) и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)». 2-е издание, дополненное / *Н. В. Блинкова, К. В. Вандышева*; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 24с.

Методические рекомендации содержат цели и задачи производственной практики, включающих в себя выработку навыков производственного труда, знакомства с техникой, геофизической аппаратурой, методикой работ. Даются необходимые рекомендации по руководству и организации практики от университета и от предприятия.

Для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки специализаций «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» и «Геофизические методы исследования скважин»

© Блинкова Н. В.,
Вандышева К. В., 2010, 2018
© Уральский государственный
горный университет, 2010, 2018

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
Факультета геологии и геофизики УГГУ
_____2018 г.
Председатель комиссии
_____проф. Бондарев В. И.

Н. В. Блинкова, К. В. Вандышева

ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА)

Методические рекомендации
по производственной практике,
по составлению отчета для студентов направления
21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций
«Геофизические методы исследования скважин (ГИС)» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)»

2-е издание, дополненное

Издание УГГУ Екатеринбург, 2018

Оглавление

Введение…… 4
1. Организация и руководство практикой……. 5
1.1. Организация практики……. 5
1.2. Руководство практикой…… 6
1.2.1. Руководство практикой от университета…….. 6
1.2.2. Руководство практикой от предприятия……... 6
2. Обязанности и права студентов…….. 10
2.1. Обязанности студента…….. 10
2.2. Права студентов…… 12
3. Цели и задачи практики……... 14
3.1. Цель практики……... 14
3.2. Задачи практики…… 14
4. Структура и содержание отчёта……. 15
5. Основные требования к оформлению отчета…… 19
6. Перечень документов, необходимых
при отъезде на практику…….. 21
7. Содержание практики…….……. 21
Рекомендуемая литература……. 23

ВВЕДЕНИЕ

Производственная практика является ответственным этапом в подготовке горных инженеров-геофизиков. Данная программа предусматривает выработку у студентов навыков производственного труда и преобретения профессии, необходимой для инженерной деятельности, закрепления знаний по общеинженерным и специальным дисциплинам и является неотъемлемой частью всего учебного процесса.

Цели, задачи, содержание, объем практик и их название определяются требованиями федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) по направлениям подготовки ВО, программами практик, разработанных с учетом специфики подготовки обучающихся. Цель практики заключается в формировании профессиональных навыков через закрепление, расширение, углубление и систематизацию знаний, полученных студентами в процессе теоретического обучения, проверке профессиональной готовности будущего специалиста к самостоятельной трудовой деятельности и приобретение профессионального опыта. Задачи практики определяются в рабочих программах практик и индивидуальных заданиях, разработанных кафедрами университета ответственными за проведение практики (с учетом специфики и уровня подготовки специалиста).

1. ОРГАНИЗАЦИЯ И РУКОВОДСТВО ПРАКТИКОЙ

1.1. Организация практики

Производственная практика студентов четвёртого курса проводится в геологоразведочных организациях (партиях, экспедициях и частных компаниях), а также научно-исследовательских и проектных организациях геолого-разведочного профиля.

Для успешного проведения производственной практики студентам необходимо знать определённые разделы из цикла предшествующих дисциплин. Из дисциплины «Геофизические методы исследования скважин», оборудование для выполнения спуско-подъёмных операций, геофизические цифровые станции для регистрации данных каротажа, технику и методику работ при выполнении определённых геофизических методов, теорию этих методов. Из дисциплины «Аппаратура геофизических исследований скважин», «Электронные измерительные устройства» необходимо студентам знать устройство скважинных приборов, устройство регистраторов и станций на уровне блок-схем. Из курса «Физика горных пород» – основные физические и физико-механические характеристики горных пород, классификацию горных пород, рудных и нерудных минералов по их способу образования, а так же классификации по буримости.

Из курса «Разведочная геофизика» основные методы разведки и их практической применение.

Из курса наземных методов разведки указываются предпосылки проведения работ, последовательность выполнения разными ме-

тодами, и их взаимодействие, типовой и рациональный комплекс геофизических работ. Определение масштаба съемки, обоснование сети наблюдения, точности и способа ее определения, выбор аппаратуры. Описание последовательности обработки, методики интерпретации результатов наблюдений каждым методом и способ представления полученных данных.

1.2. Руководство практикой

1.2.1. Руководство практикой от университета

Руководитель практики студентов от университета:

– обеспечивает проведение всех организационных мероприятий перед выездом студентов на практику (проводят собрание студентов и инструктаж по вопросам проведения практики, проверяют обеспеченность студентов программами, дневниками, а так же индивидуальным заданиями);

– проводят общий инструктаж по вопросам техники безопасности на практике и дисциплины в пути следования на место практики и обратно;

– обеспечивает высокое качество прохождения практики студентами в соответствии с программой практики, контролирует обеспечение студентов рабочими местами.

1.2.2. Руководство практикой от предприятий

Ответственность за прохождение практики на предприятии возлагается на руководителя предприятия. Непосредственное руководство практикой студентов в структурных подразделения пред-

приятий возлагается приходом руководителя предприятия на высококвалифицированных специалистов.

Предприятие обязано обеспечить студентов во время прохождения производственной практики оплачиваемыми рабочими местами в соответствии с программой практики, создать необходимые условия для усвоения студентами знаний о новой технике, новой аппаратуре, новых методах, передовой технологии, современных вопросов экономики и передовых методов организации труда.

Руководители практики организуют проведение обязательных инструктажей по охране труда и технике безопасности (вводного и на рабочем месте) с оформлением соответствующей документации. Безопасные условия труда и обучения проводятся в соответствии с «Порядком обучения по охране труда и проверке знаний требований охраны труда работников организаций», утвержденные Министерством образования Российской Федерации и Министерством труда и социального развития от 13.01.2003 №1/29 «Об утверждение порядка обучения по охране труда и проверке знаний требований по охране труда работников организаций».

Руководители практики обязаны обеспечить студентов (учащихся) на время прохождения практики спецодеждой, спецобувью и предохранительными приспособлениями в соответствии с трудовым кодексом Российской Федерации и постановлением Министерства труда Российской Федерации от 01.06.2009 № 290 н (в редакции от 12.01.2015) «об утверждений правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами инди-

видуальной защиты», девствующей в части, непротиворечащей трудовому кодексу Российской Федерации.

Предприятие несёт полную ответственность за несчастный случай, происшедший со студентами во время прохождения ими практики.

Руководители предприятий могут выносить в случае необходимости в приказном порядке, взыскания студентам-практикантам, нарушающим правила внутреннего распорядка, и сообщать об этом в университет.

Руководители практики должны создать необходимые условия для выполнения студентами (учащимися) программы производственной практики. Не допускать использования студентов на работах, не предусмотренных программой прохождения практики и не имеющих отношения к профессии (специальности) студентов.

Руководитель от предприятия, осуществляющий общее руководство практикой:

– знакомит студентов с организационной структурой предприятия и основными направлениями его работ;

– совместно с руководителем практики от университета организует и контролирует проведение практики в соответствии с программой и согласованным календарным графиком прохождения практики;

– организует экскурсии по предприятию и на другие объекты (скважины);

– вовлекает студентов в научно-исследовательскую и рационализаторскую работу.

Руководители обязаны предоставить студентам возможность пользования лабораториями, мастерскими, кабинетами (библиотекой), технической и другой документацией в подразделениях предприятия для успешного освоения студентами программы производственной практики и выполнения индивидуальных занятий.

Руководители от предприятия должны обеспечить иногородних студентов койко-местом в общежитии в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями на время прохождения производственной практики с оплатой по установленным нормам.

Руководители должны осуществлять контроль за соблюдением студентами мер пожарной безопасности.

Руководители практики должны обеспечить табельный учёт выхода на работу студентов, дать характеристику о работе каждого студента и заключение о качестве подготовленного ими отчёта.

Руководители практики должны производить оплату и стимулирование труда студентов, зачисленных на вакантные рабочие места (должности), в период прохождения производственной практики по выполняемой работе в соответствии с трудовым кодексом Российской Федерации, локальными нормативными актами, действующими в обществе, и договорами образовательных учреждений на проведение производственной практики, заключаемых с обществом.

Руководители структурных подразделений в праве отстранять студентов от дальнейшего прохождения практики и досрочно отправить студента в расположение образовательного учреждения в случае грубого нарушения ими требований, правил, предписаний и инструкций по охране труда и технике безопасности, предусмотренных

трудовым кодексом Российской Федерации и иными нормативно трудовыми актами, действующими в части не противоречащими трудовому кодексу Российской Федерации.

Во время проведения производственной практики руководители практики должны предоставлять работникам, зачисленным на вакантные рабочие мечта (должности) гарантии компенсации, предусмотренные трудовым законодательством Российской Федерации.

Кроме того руководители практики должны знакомить студента с организацией работ на конкретном рабочем месте; помогать студентам правильно выполнять все задания, овладевать навыками производственной работы и рабочими профессиями, получать необходимые материалы для составления отчётов по практике; контролировать ведение дневников, подготовку отчётов по практике, составлять производственные характеристики об отношении студентов к работе, их деловые качества, а так же их участие в общественной жизни предприятия.

2. ОБЯЗАННОСТИ И ПРАВА СТУДЕНТОВ

2.1. Обязанности студентов

До отъезда на практику, студент должен знать какая кафедра и кто из её преподавателей руководит практикой, знать место и адрес прохождения практики; получить на кафедре, осуществляющей руководство практикой, путёвку-удостоверение, программу практики и пройти общий инструктаж по вопросам техники безопасности; изучить программу практики и маршрут следования к месту практики, сдать книги в библиотеку и своё место в общежитии, оформить об-

ходной лист и сдать его на кафедру; студентам, обучающимся платно оплатить обучение и оформить это в бухгалтерии.

Своевременно, но не позднее, чем за день до начала практики выехать на предприятие-базу практики имея при себе, кроме документов необходимых для прохождения практики, студенческий билет, трудовую книжку (если она имеется) и фотографии для пропуска. Желательно руководителю предприятия сообщить по телефону о своём выезде, вид транспорта, время прибытия.

По прибытию на место студент обязан явиться к руководителю предприятия и получить указания по прохождению практикой, договориться о времени и месте получения консультаций.

До начала работы на штатной должности студент должен пройти производственный инструктаж, организуемый предприятием, с обязательным изучением правил техники безопасности и охраны труда, правила работ с радиоактивными источниками и взрывными веществами (при работе на радиоактивных методах каротажа и перфорации скважин), а также действующих на предприятии правил эксплуатации оборудования.

В период прохождения практики студенты обязаны:

– полностью выполнять задание, предусмотренное программой практики, строго соблюдая сроки прохождения практики;

– подчиняться действующим на предприятии правилам внутреннего трудового распорядка;

– нести ответственность за выполненную работу и её результаты наравне с работниками предприятия;

– овладеть навыками производственной работы, сдать квалификационный экзамен по профилю выполненной работы;

– регулярно вести дневник, отражающий ежедневную работу, составить отчёт;

– чётко выполнять рекомендации и указания руководителей от университета и предприятия.

По окончании практики студентам необходимо сдать пропуск, техническую и художественную литературу, спецодежду, место в общежитии, предварительно отметив на предприятии, взять с собой отчёт по практике, путёвку-удостоверение, характеристику, удостоверение о получении квалификации, трудовую книжку и прибыть в университет в установленный срок (путёвка и характеристика подписываются руководителем предприятия и скрепляются печатью, отчёт по практике подписывается руководителем практики).

По возвращении путевка, отчёт и характеристика сдаются студентом на кафедру для проверки.

2.2. Права студентов

В соответствии с программой практики, предприятие обеспечивает их оплачиваемыми рабочими местами.

После зачисления студентов на оплачиваемые рабочие места и должности, на них распространяется трудовое законодательство Российской Федерации, правила охраны труда и внутреннего распорядка, действующего на данном предприятии, выплачивается компенсация за очередной отпуск по нормам, установленным, для данной профессии (должности).

Во время прохождения практики за студентами независимо от получаемой заработной платы, сохраняется право на получение стипендии, если студент её ранее получал.

На студентов, не имеющих стажа работы, заводится трудовая книжка, в которой делается соответствующая запись.

Студентам, зачисленным на платные должности в геологических партиях и экспедициях, получающим заработную плату и полевое довольствие или бесплатное питание, выплата суточных денег не производится.

Проезд студентов к месту практики и обратно средствами городского, пригородного и местного транспорта, независимо от места практики, оплачивается студентами за свой счёт.

Студенты за время прохождения практики пользоваться бесплатно защитной одеждой, спец обувью, и индивидуальными средствами защиты по нормам, установленными для соответствующих работников данного предприятия.

Предприятие обеспечивает студентов общежитиями на условиях, предоставляемых постоянным работникам.

Студенты имеют право пользоваться на предприятиях по месту прохождения практики литературой, инструкциями, получать консультации специалистов по программе практики и помощь в подборе материалов для отчётов о практике, курсовых и дипломных проектов.

3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ

3.1. Цель практики

Целью практики является реализация на производстве и закрепление теоретических знаний, получаемых студентом в процессе обучения; практическая работа по специальности и овладение профессией, отбор и накопление материала, необходимого для выполнения дипломного проекта или дипломной работы; изучение и приобретение опыта руководства структурным подразделением; активное ознакомление с технологией производственного процесса, знакомство с новыми методиками и техническими средствами, а также проверка деловых качеств студентов в производственных условиях.

3.2. Задачи практики

В задачи практики входит:

– формирование профессиональных навыков путём активного участия в производственном процессе;

– приобретение практических навыков самостоятельной работы в должности рабочего;

– закрепление профессиональных знаний и их повышение при прохождении практики;

– приобретение опыта эксплуатации и ремонта оборудования, используемого в партиях и экспедициях;

– изучение конкретных производственных заданий и технико-экономических показателей их выполнения;

– освоение способов интерпретации результатов наблюдений;

– изучение организации труда.

Студент должен постоянно фиксировать свои достижения в специальном дневнике. В дальнейшем все собранные материалы и наблюдения должны быть изложены в отчёте по производственной практике.

Перечень дисциплин с указание разделов, усвоение которых необходимо для прохождения практики.

Для успешного прохождения производственной практики студентам необходимо знать определённые разделы цикла предшествующих дисциплин в соответствии с учебным планом. Из дисциплины « Геофизические методы исследования скважин » теорию методов электрического каротажа, радиоактивного каротажа и методов контроля за техническим состоянием скважин.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Важнейшим этапом прохождения производственной практики является составление отчёта. По отчёту оценивается качество выполнения программы практики. Все собранные материалы являются основой дипломного проекта или дипломной работы.

Любые методические материалы должны быть подкреплены рисунками, таблицами, картами физических полей, блок-схемами, диаграммами.

Студент должен подготовить список используемой литературы, отчётов, инструкций. В отчёте должны быть ссылки на фондовые материалы.

Составление дипломного проекта или дипломной работы является заключительным этапом обучения студентов в УГГУ, дипломный проект является квалификационной работой, подготовка и успешная защита которой в ГЭК (Государственная аттестационной комиссией) служит основанием для присвоения выпускнику университета звания горного инженера – геофизика. Поэтому сбор материалов на практике должен соответствовать следующему перечню разделов:

– для специализации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ»:

Введение

1. Общие сведения о районе работ (приложением должна быть выкопировка из географической карты, с указанием места работ)
2. Геологическое строение района и участка работ
3. Физические и геологические предпосылки для постановки геофизических работ
4. Построение физико-геологической модели (обобщенную ФГМ можно представлять в виде совокупности частных моделей: геологической, петрофизической и физических полей в профильном, плоскостном или объемном варианте)
5. Анализ геофизических работ, проведенных в районе
6. Методика и техника проектируемых работ
7. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и охрана окружающей среды
8. Перечень, объём и условие производства проектируемых работ

Заключение

Список использованной литературы;

– для специализации «Геофизические методы исследования скважин»:

Введение

1. Общие сведения о районе работ (приложением должна быть выкопировка из географической карты, с указанием места работ)
2. Геологическое строение района и участка работ
3. Физические и геологические предпосылки для постановки геофизических работ
4. Анализ геофизических работ, проведенных в районе
5. Особенности бурения, конструкция скважины
6. Методика и техника проектируемых работ
7. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и охрана окружающей среды
8. Перечень, объём и условие производства проектируемых работ

Заключение

Список используемой литературы.

Студенту необходимо приложить к отчёту каротажные диаграммы, геологическую карту и разрез, чертежи, схемы, графики, таблицы, карты геофизических полей.

Тема должна быть выбрана студентом под руководством квалифицированного специалиста от предприятия или с помощью преподавателя кафедры.

Возможные темы:

– для специализации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ»:

– «Проект геофизических работ с целью поисков золото-сульфидных месторождений в конкретном районе (регионе)»;

– «Проект геофизических работ в помощь геологическому картированию масштаба 1:50 000 при доизучении конкретной площади (участке работ)»;

– «Проект инженерно-геофизических исследований для геологического обеспечения проектирования строительства объекта (указать какого)».

– для специализации «Геофизические методы исследования скважин»:

– «Определение профиля притока и приемистости»;

– «Определение фильтрационно-ёмкостных свойств пластов - коллекторов»;

– «Оценка технического состояния скважины»;

– «Оценка нефтенасыщенности коллекторов»;

– «Новые технические средства для ГИС»;

– «Методы исследования горизонтальных скважин».

Руководитель практики, выделенный производственной организацией, должен постоянно консультировать студента, следить за качеством собранного материала.

В дальнейшем эту роль берёт на себя руководитель дипломного проектирования.

На написание отчёта даётся две недели от начала учебных занятий в осеннем семестре.

5. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должна оформляться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к техническим рукописям. Текст располагает на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Рекомендуется шрифт 14 Times New Roman расстоянием между строками 1,5 интервала. Поля сверху, снизу и справа не менее 20 мм, слева – не менее 30 мм. Отступ абзаца 10 мм.

Страницы нумеруют подряд, включая рисунки и таблицы. Отсчет страниц начинают с титульного листа, но номер в первый раз проставляет на первой странице введения.

Нумерация рисунков, таблиц, формул сквозная, арабскими цифрами. Их помещают после первого упоминания на той же или на следующей странице. Подрисуночную подпись помещают ниже рисунка. Она включает номер рисунка (например, «Рис. 3») и далее его название. С новой строки помещают необходимые пояснения. Название рисунка набирают шрифтом меньшим, чем шрифт основного текста. Рисунок и подрисуночную подпись сверху и снизу отделяют от текста интервалами. Ссылки на рисунки делают в круглых скобках (например, (рис. 3)), при повторных ссылках добавляет сокращенное слово «смотри» (например, (см. рис. 3)).

Содержание таблиц также набирает более мелким шрифтом. Над таблицей помещают ее название, а над названием справа – слово "Таблица" и ее номер (знак «№» не пишут). Ссылки на таблицы делают так же, как на рисунки.

Слова в тексте пишут полностью, допускаются только общепринятые в технической литературе сокращения. Следует использовать термины и обозначения различных величин принятые в технической литературе. При первом использовании какого-либо обозначения следует пояснить его значение. Греческие буквы набирают прямым шрифтом, латинские – курсивом, за исключением математических (sin, ln и т .п.) и химических символов, которые набирают прямым шрифтом.

Заголовки разделов пишут заглавными буквами жирным шрифтом и располагают посредине листа. Разделы нумеруют арабскими цифрами (слово «глава» обычно не пишется). Подразделы нумеруют двумя цифрами через точку, указывающими номер раздела и номер подраздела в нем.

В конце текстовой части приводят список литературы. Список составляют в алфавитном порядке. Сначала указывают печатные источники, затем фондовые. Описание литературных источников делают в соответствии с установленными правилами. Ссылки на литературу в тексте делают путем указания номера источника по списку в квадратных скобках (например [7]). При использовании заимствованных рисунков, таблиц ссылка на источник или автора обязательна.

Графические приложения выполняют на стандартных листах формата А1. При необходимости можно использовать листы других стандартных форматов.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ НЕОБХОДИМЫЙ ПРИ ОТЪЕЗДЕ НА ПРАКТИКУ

1. Паспорт.
2. Военный билет или приписное свидетельство.
3. Страховой полис.
4. Страховое свидетельство.
5. ИНН (идентификационный номер налога плательщика).
6. Трудовая книжка, если она есть.
7. Медицинская справка.
8. Путёвка от кафедры.
9. Справка первого отдела.
10. Два фото размером 3×4 см.

Перед получением путёвки студент на кафедру должен сдать обходной лист.

7. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКИ

Производственную практику на предприятиях занимающихся ГИС, проходят студенты специализации «Геофизические методы исследования скважин», избравшие для курсового и дипломного проектирования тематику разнообразных методов, методик, технологии исследования скважин.

На практику в геологоразведочные организации отправляются студенты специализации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ», избравшие для курсового и дипломного проектирования

тематику разнообразных методов, методик, технологии проведения геофизических методов разведки.

Производственная практика позволит студенту проявить свои деловые и профессиональные качества и обеспечить место для дальнейшей работы после окончания университета.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Возженников Г. С., Белышев Ю. В*. Радиометрия и ядерная геофизика: Учеб. пос. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. – 406 с.

2. *Геофизические методы разведки рудных месторождений:* справочник / под ред. В. В. Бродового. – М.: Недра, 1990. – 296 с.

3. *Горбачев Ю. И.* Геофизические исследования скважин: учебник для вузов / под. ред. Е. В. Каруса. – М.: Недра, 1990. – 398 с.

4. *Гравиразведка: справочник геофизика* / под ред. Е. А. Мудрцовой и К. Е. Веселова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 607 с.

5. *Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Резванов В. А. и др.* Промысловая геофизика: учебник для вузов / под. ред. В. М. Добрынина. – М.: Недра, 1986. – 342 с.

6. *Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С.* Общий курс геофизических исследований скважин: учебник для вузов. 2-е изд. перераб. – М.: Недра, 1984. – 432 с.

7. *Инструкции по гравиметрической разведке*. – М.: Недра, 1975. – 88 с.

8. *Инструкции по магниторазведке:* наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка / под ред. Ю. С. Глебовского и В. Е. Никитского. – Л.: Недра, 1981.

9. *Инструкции по сейсморазведке*. М.: Недра, 1985.

10. *Инструкции по электроразведке:* наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, морская электроразведка / М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1984. – 352 с.

11. *Кузнецов Г. С., Леонтьев Е. И., Резванов Р. А.* Геофизические методы контроля разработки нефтяных и газовых месторождений: учебник для вузов. – М.: Недра, 1991. – 223 с.

12. *Кассин Г. Г.* Геофизические методы на региональном этапе геологоразведочного процесса. – Екатеринбург: УГГА, 1996. – 104 с.

13. *Магниторазведка:* справочник геофизика / под. ред. В. Е. Никитского и Ю. С. Глебовского. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 470 с.

14. *Молчанов А. А., Лукьянов Э. Е., Рапин В. А.* Геофизические исследования горизонтальных нефтегазовых скважин: учебное пособие. – Спб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), 2001. – 298 с.

15. *Рудные месторождения СССР* / под ред. В. И. Смирнова. Том 3. – М.: Недра, 1974. – 392 с.

16. *Сапожников В. М.* Комплексирование геофизических методов: учебное пособие / Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 76 с.

17. *Сковородников И. Г.* Геофизические исследования скважин: Учеб. пос. для вузов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 456 с.

18. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых*: справочник геофизика / под ред. Н. Б. Дортман. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 456 с.

19. *Электроразведка:* Справочник геофизика. В двух книгах / под. ред. В. К. Хмелевского и В. М. Бондаренко 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 438 и 278 с.

Учебное издание

БЛИНКОВА НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА
ВАНДЫШЕВА КСЕНИЯ ВАСИЛЬЕВНА

ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА)

Методические рекомендации
по производственной практике, по составлению отчета
для студентов направления
21.05.03 «Технология геологической разведки» специализаций
«Геофизические методы исследования скважин (ГИС)» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ (РФ)»

2-е издание, дополненное

Редактор В. В. Баклаева
Компьютерная верстка К. В. Вандышевой

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60×811/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. Уч. – изд. л. Тираж 100. Заказ 1,25

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу С.А. Упоров

ПРОГРАММА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Специальность
21.05.03 ***Технология геологической разведки***

Специализация
Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

Автор: Вандышева К. В., к.г.-м.н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Геофизики	Геологии и геофизики
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Талалай А. Г.	Вандышева К. В.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 2 от 29.09.2023	Протокол № 2 от 13.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ
1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 3
1.1 Требования к выпускной квалификационной работе
1.2 Порядок выполнения выпускной квалификационной работы

2 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 16

3 ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 18
3.1 Тематика выпускных квалификационных работ
3.2 Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность общекультурных компетенций
3.3 Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность общепрофессиональных компетенций

ПРИЛОЖЕНИЯ 20

ВВЕДЕНИЕ

Программа государственной итоговой аттестации по основной профессиональной образовательной программе по специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, специализация «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых» составлена в соответствии с требованиями:

- Порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 29.06.2015 № 636;
- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - специалитет по специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, утверждённый приказом Минобрнауки России от 12.08.2020 № 977;
- локальных нормативных актов университета, регламентирующих порядок проведения государственной итоговой аттестации.

Программа государственной итоговой аттестации включает:

I. Требования к выпускным квалификационным работам и порядку их выполнения (методические рекомендации по выполнению выпускных квалификационных работ);

II. Критерии оценки защиты выпускных квалификационных работ;

III. Оценочные материалы.

IV. Приложения

I МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1.1 ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1.1.1 Общие положения

Государственная итоговая аттестация представляет собой процесс итоговой проверки и оценки компетенций выпускника, полученных в результате обучения. Государственная итоговая аттестация выпускника высшего учебного заведения является обязательной и осуществляется после освоения образовательной программы в полном объеме. Цель итоговой государственной аттестации выпускников – установление уровня готовности выпускника к выполнению профессиональных задач.

Государственная итоговая аттестации выпускников, завершивших освоение основной профессиональной образовательной программы по специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, специализация «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых» осуществляется в форме подготовки к процедуре защиты и защиты выпускной квалификационной работы.

Трудоемкость государственной итоговой аттестации – 12 з.е.:

- подготовка к процедуре защиты выпускной квалификационной работы – 9 з.е.;
- процедура защиты выпускной квалификационной работы – 3 з.е.

Трудоемкость государственной итоговой аттестации				
кол-во з.е.	часы			
	общая	контактная работа	СР	
9	432	35	397	Подготовка к процедуре защиты выпускной квалификационной работы
3	108		108	Процедура защиты ВКР

1.1.2 Цели и задачи выпускной квалификационной работы

Цель выполнения выпускной квалификационной работы (далее – ВКР):

систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по направлению специальности и применение этих знаний при решении конкретных профессиональных задач;

развитие навыков ведения самостоятельной работы и применения методик исследования и экспериментирования при решении разрабатываемых в выпускной квалификационной работе проблем и вопросов;

выяснение подготовленности обучающихся для самостоятельной работы по задачам профессиональной деятельности, определенных федеральным государственным образовательным стандартом (далее - ФГОС) специальности.

Выпускная квалификационная работа выполняется, как правило, на материалах организаций (баз практики) с учетом проблем, требующих решения в данной организации.

Основными задачами, которые должен решить обучающийся при выполнении выпускной квалификационной работы являются:

обоснование актуальности и значимости выбранной темы работы с точки зрения теории и практики управления деятельностью предприятия, составление программы исследования;

изучение теоретических положений по проблеме, составление литературного обзора по проблеме исследования;

обоснование необходимости и возможности применения определенных современных методик принятия управленческих решений по задачам, поставленным в работе;

сбор необходимой для проведения исследования информации с привлечением первичных и вторичных источников и использованием адекватных методов;

разработка практических рекомендаций и предложений, их экономическое и организационное обоснование, необходимое и достаточное для решаемой задачи;

обобщение результатов проведенных исследований, формулирование выводов о степени достижения целей, поставленных в работе, и возможности практического применения предложенных разработок;

оформление ВКР в соответствии с нормативными требованиями.

В ходе государственной итоговой аттестации проверяется сформированность следующих компетенций:

Универсальных

Код и наименование компетенции	*Код и наименование индикатора достижения компетенции*
УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1.Выбирает информационные ресурсы для поиска информации в соответствии с поставленной задачей УК-1.2.Оценивает соответствие выбранного информационного ресурса критериям полноты и аутентичности УК-1.3.Систематизирует обнаруженную информацию, полученную из разных источников, в соответствии с требованиями и условиями задачи УК-1.4.Использует системный подход для решения поставленных задач.
УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Разрабатывает план осуществления проекта на всех этапах его жизненного цикла с учетом потребностей в необходимых ресурсах, имеющихся ограничений, возможных рисков; УК-2.2 Осуществляет мониторинг реализации проекта на основе структуризации всех процессов и определения зон ответственности его участников. УК-2.3 Публично представляет результаты проекта, вступает в обсуждение хода и результатов проекта.
УК-3. Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1 Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи. УК-3.2 Вырабатывает стратегию командной работы и на ее основе организует отбор членов команды для достижения поставленной цели. УК-3.3 Организует и корректирует работу команды в том числе на основе коллегиальных решений.

УК-4. Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1. Ведет обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке. УК-4.2. Ведет обмен деловой информацией в устной и письменной формах не менее чем на одном иностранном языке. УК-4.3. Использует современные информационно-коммуникативные средства для коммуникации.
УК-5. Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	УК-5.1. Толерантно воспринимает социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия УК-5.2. Анализирует современное состояние общества на основе знания истории. УК-5.3. Интерпретирует проблемы современности с позиций этики и философских знаний.
УК-6. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни	УК-6.1. Эффективно планирует собственное время. УК-6.2. Планирует траекторию своего профессионального развития и предпринимает шаги по ее реализации УК-6.3. Адекватно определяет свою самооценку, осуществляет самопрезентацию, составляет резюме
УК-7. Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности	УК-7.1. Использует основы физической культуры для осознанного выбора здоровьесберегающих технологий с учетом внутренних и внешних условий реализации конкретной профессиональной деятельности. УК-7.2. Выполняет индивидуально подобранные комплексы оздоровительной или адаптивной физической культуры. УК-7.3. Выбирает и применяет рациональные способы и приемы сохранения физического здоровья, профилактики заболеваний, психофизического и нервно-эмоционального утомления
УК-8. Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов	УК-8.1. Выявляет возможные угрозы для жизни и здоровья в повседневной и профессиональной деятельности. УК-8.2. Понимает, как создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов. УК-8.3. Демонстрирует приемы оказания первой помощи
УК-9. Способен использовать базовые дефектологические знания в социальной и профессиональной сферах	УК-9.1. Применяет базовые дефектологические знания в социальной и профессиональной сферах УК-9.2. Применяет навыки взаимодействия в социальной и профессиональной сферах с лицами из числа инвалидов и лицами с ограниченными возможностями здоровья
УК-10. Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности	УК-10.1. Понимает основные проблемы, базовые принципы и законы функционирования экономики, роль государства в экономическом развитии УК-10.2. Понимает поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства. УК-10.3. Понимает цели, виды и инструменты государственной экономической политики и их влияние на субъектов экономики УК-10.4. Применяет методы личного финансового планирования, использует финансовые инструменты для управления собственным бюджетом, контролирует личные финансовые риски
УК-11. Способен формировать нетерпимое отношение к проявлениям экстремизма, терроризма, коррупционному поведению и противодействовать им в профессиональной деятельности	УК-11.1. Знает законодательство, направленное на борьбу с экстремизмом, терроризмом, коррупцией УК-11.2. Понимает правовые нормы, обеспечивающие борьбу с экстремизмом, терроризмом, коррупцией в различных областях жизнедеятельности

общепрофессиональных

Код и наименование компетенции	*Код и наименование индикатора достижения компетенции*
ОПК-1. Способен применять правовые основы геологического изучения недр и недропользования, обеспечения экологической и промышленной безопасности и уметь их учитывать при поисках, разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а также строительстве	ОПК-1.1 Понимает правовые основы недропользования, обеспечение экологической и промышленной безопасности ОПК -1.2 Применяет правовые основы геологического изучения недр и их использования для оценки экологической и промышленной безопасности.
ОПК-2. Способен применять методы и способы геолого-экономической оценки минерально-сырьевой базы и месторождений полезных ископаемых	ОПК-2.1 Понимает методы и способы геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых. ОПК-2.2 Применяет методику геолого-промышленной оценки месторождений полезных ископаемых. ОПК-2.3 Выбирает методы и способы геолого-экономической оценки минерально-сырьевой базы страны.
ОПК-3. Способен применять основные положения фундаментальных естественных наук и научных теорий при проведении научно-исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально- сырьевой базы	ОПК-3.1 Выбирает основные положения естественных наук научных теорий при проведении научно-исследовательских работ по изучению и освоению минерально-сырьевой базы. ОПК-3.2 Использует основные положения естественных наук при проведении научно-исследовательских работ по изучению и пополнению минерально- сырьевой базы.
ОПК-4. Способен применять методы обеспечения безопасности жизнедеятельности, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций, при производстве работ по геологическому изучению недр, поискам, разведке, добыче и переработке полезных ископаемых, промышленно-гражданскому строительству	ОПК-4.1 Определяет методы обеспечения безопасности жизнедеятельности, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций, при производстве работ по геологическому изучению недр, поискам, разведке, добыче и переработке полезных ископаемых. ОПК-4.2 Реализует методы обеспечения безопасности жизнедеятельности, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций, при производстве работ на всех стадиях по геологическому изучению недр и переработке полезных ископаемых.
ОПК-5. Способен применять навыки анализа горно-геологических условий при поисках, оценке, разведке и добыче полезных ископаемых, а также при гражданском строительстве	ОПК-5.1 Анализирует горно-геологические условия при поисках, оценке, разведке и добыче полезных ископаемых, а также при гражданском строительстве ОПК-5.2 Реализует на практике анализ горно-геологических условий при поисках, оценке, разведке и добыче полезных ископаемых, а также при гражданском строительстве
ОПК-6. Способен работать с программным обеспечением общего, специального назначения, в том числе моделировать горные и геологические объекты	ОПК-6.1 Имеет представления о программном обеспечении общего и специального назначения. ОПК-6.2. Выбирает и применяет программное обеспечение общего, специального назначения, и создавать модели горные и геологические объекты
ОПК-7. Способен осуществлять техническое руководство горными и взрывными работами при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, гражданском строительстве, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций	ОПК-7.1 Имеет представление о методике технического руководства горными и взрывными работами на всех стадиях геологических работ. ОПК-7.2 Реализует техническое руководство горными и взрывными работами при геологоразведочных работах, гражданском строительстве, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций
ОПК-8. Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения и обработки информации, используя навыки работы с компьютером как средством управления информацией	ОПК-8.1 Предлагает основные методы, способы и средства получения, хранения и обработки информации, используя навыки работы с компьютером как средством управления информацией ОПК-8.2 Выбирает и применяет основные методы, способы и средства получения, хранения и обработки информации, используя навыки работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК-9. Способен ориентироваться на местности, определять пространственное положение объектов, осуществлять необходимые	ОПК-9.1 Имеет представления об ориентировании на местности, определении пространственного положения объектов. ОПК-9.2 Свободно ориентируется на местности, определяет пространственное положение объектов, осуществляет необходимые

геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты	геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывает и интерпретирует их результаты
ОПК-10. Способен планировать, проектировать, организовывать геологоразведочные и горные работы, вести учет и контроль выполняемых работ, анализировать оперативные и текущие показатели производства, обосновывать предложения по совершенствованию организации производства, оперативно устранять нарушения производственных процессов	ОПК-10.1 Планирует, проектирует организацию геологоразведочных и горных работ, ведения учета и контроля выполняемых работ. ОПК-10.2. Анализирует оперативные и текущие показатели производства, обосновывает предложения по совершенствованию организации производства, оперативно устраняет нарушения производственных процессов.
ОПК-11. Способен в составе творческих коллективов и самостоятельно, контролировать соответствие проектов требованиям стандартов, техническим условиям и документам промышленной безопасности, разрабатывать, согласовывать и утверждать в установленном порядке технические и методические документы, регламентирующие порядок, качество и безопасность выполнения поисковых, геологоразведочных, горных и взрывных работ	ОПК-11.1 Контролирует соответствие проектов требованиям стандартов, техническим условиям и документам промышленной безопасности. ОПК-11.2 Разрабатывает, согласовывает и утверждает в установленном порядке технические и методические документы, регламентирующие порядок, качество и безопасность выполнения поисковых, геологоразведочных, горных и взрывных работ.
ОПК-12. Способен проводить самостоятельно или в составе группы научный поиск, реализуя специальные средства и методы получения нового знания, участвовать в научных исследованиях объектов профессиональной деятельности и их структурных элементов	ОПК-12.1 Применяет специальные средства и методы получения нового знания. ОПК-12.3 Самостоятельно или в составе группы участвует в научных исследованиях объектов профессиональной деятельности и их структурных элементов.
ОПК-13. Способен изучать и анализировать вещественный состав горных пород и руд и геолого-промышленные и генетические типы месторождений полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению минерально-сырьевой базы	ОПК-13.1. Демонстрирует знания вещественного состава горных пород и руд и геолого-промышленных и генетических типов месторождений полезных ископаемых. ОПК-13.2 Анализирует вещественный состав горных пород и руд и геолого-промышленные и генетические типы месторождений полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению минерально-сырьевой базы.
ОПК-14. Способен выполнять маркетинговые исследования, проводить экономический анализ затрат для реализации процессов геологоразведочного производства в целом	ОПК-14.1 Имеет представление о маркетинговых исследованиях, с проведением экономического анализа затрат на геологоразведочные работы ОПК-14.2 Осуществляет маркетинговые исследования, проводит экономический анализ затрат для реализации процессов геологоразведочного производства в целом.
ОПК-15. Способен участвовать в разработке и реализации образовательных программ в сфере своей профессиональной деятельности, используя профессиональные знания	ОПК-15.1 Разрабатывает и реализует образовательные программы в сфере своей профессиональной деятельности.

профессиональных

Код и наименование профессиональной компетенции	*Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции*
ПК-1.1 Способен отслеживать тенденции и направления развития эффективных технологий геологической разведки, проявлением профессионального интереса к развитию смежных областей	ПК-1.1.1 Представляет тенденции и направления развития эффективных технологий геологической разведки ПК-1.1.2 Проявляет профессиональный интерес к развитию смежных областей

ПК-1.2. Способен проводить математическое моделирование и исследование геофизических процессов и объектов специализированными геофизическими информационными системами, в том числе стандартными пакетами программ	ПК-12.1 Имеет представление о математическом моделировании и исследовании геофизических процессов и объектов ПК-1.2.2 Специализированными геофизическими информационными системами, в том числе стандартными пакетами программ, проводит математическое моделирование и исследование геофизических процессов и объектов
ПК-1.3 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	ПК-1.3.1 Выявляет естественнонаучную сущность проблем профессиональной деятельности ПК-1.3.2 Привлекает физико-математический аппарат в ходе профессиональной деятельности для решения конкретных задач
ПК-1.4. Способен выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях	ПК-1.4.1 Имеет представление о ведении технической документации по поверке, калибровке, настройке и эксплуатации геофизической техники в различных геолого-технических условиях ПК-1.4.2 Выполняет поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях
ПК-1.5. Способен решать прямые и обратные (некорректные) задачи геофизики на высоком уровне фундаментальной подготовки по теоретическим, методическим и алгоритмическим основам создания новейших технологических геофизических процессов	ПК-1.5.1 Использует фундаментальную подготовку по теоретическим, методическим и алгоритмическим основам создания новейших технологических геофизических процессов ПК-1.5.2 Пользуясь фундаментальной подготовкой по теоретическим, методическим и алгоритмическим основам создания новейших технологий решает прямые и обратные (некорректные задачи) геофизики
ПК-1.6 способен профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения	ПК-1.6.1 Профессионально эксплуатирует современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения
ПК-1.7. Способен разрабатывать комплексы геофизических методов разведки и методики их применения в зависимости от изменяющихся геолого-технических условий и поставленных задач	ПК-1.7.1. Демонстрирует знания о комплексах геофизических методах разведки ПК-1.7.2. Разрабатывает комплексы геофизических методов разведки и методики их применения в зависимости от изменяющихся геолого-технических условий и поставленных задач
ПК-1.8. Способен выполнять правила безопасного труда и охраны окружающей среды на объектах геологоразведочных работ	ПК-1.8.1 Выполняет правила безопасного труда и охраны окружающей среды на объектах геологоразведочных работ

При выполнении выпускной квалификационной работы обучающиеся должны *показать*, опираясь на полученные знания, умения и полученные навыки:

сформированные универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции;

способность самостоятельно решать на современном уровне задачи своей профессиональной деятельности;

навыки постановки исследовательской проблемы, ее самостоятельного обсуждения, анализа возможных вариантов ее решения;

способность грамотно излагать специальную информацию, аргументировать и защищать свою точку зрения;

умение самостоятельного квалифицированного библиографического поиска, изучения и анализа научной литературы по теме;

навыки использования методологических, историко-философских и конкретных знаний, полученных в процессе обучения, для решения поставленной в работе проблемы;

умение написания профессионально грамотного текста и оформления его в соответствии с требованиями, предъявляемыми к научным публикациям;

использование в работе современных технологий.

1.1.3 Общие требования к выпускной квалификационной работе

Выпускная квалификационная работа должна отвечать следующим требованиям:

- быть актуальной (иметь теоретическое обоснование актуальности изучаемой проблемы в современных условиях хозяйственной деятельности);

- носить научно-исследовательский характер;

- представлять самостоятельное исследование, демонстрирующее способность выпускника решать профессиональные проблемы, делать на основе анализа геологической литературы соответствующие выводы и вносить предложения;

- отражать добросовестность обучающегося в использовании опубликованных материалов других авторов.

Общие требования к выпускной квалификационной работе – целевая направленность; четкость построения; логическая последовательность изложения материала; глубина исследования и полнота освещения вопросов; убедительность аргументаций; доказательность выводов и обоснованность рекомендаций; грамотное оформление.

Текст выпускной квалификационной работы должен демонстрировать:

– знакомство автора с литературой вопроса;

– умение выделить проблему и определить методы ее решения;

– умение последовательно изложить существо рассматриваемых вопросов, грамотно цитировать ведущих исследователей, делать ссылки на использованные источники;

– умение собирать, обобщать, анализировать практические материалы, полученные в результате собственного исследования в организации практики;

– достоверность и конкретность изложения фактических и экспериментальных данных о работе организации;

– обоснование выводов и предложений по результатам исследования, их конкретный характер, практическую ценность для решения исследуемых проблем;

– владение соответствующим понятийным и терминологическим аппаратом;

– четкость и логичность изложения мыслей, доказательность целесообразности и эффективности предлагаемых решений;

– приемлемый уровень языковой грамотности, включая владение функциональным стилем научного изложения.

1.1.4 Выбор, согласование и утверждение темы выпускной квалификационной работы

Выбор темы выпускной квалификационной работы осуществляется обучающимся по согласованию с руководителем ВКР и специалистами организации-базы практики, где будет проходить преддипломная практика. При выборе темы ВКР необходимо исходить из:

актуальности проблемы и значимости ее для научной и практической деятельности;

потребностей развития и совершенствования деятельности конкретной организации;

интересов, склонностей в научно-исследовательской работе обучающегося, а также перспектив его будущей профессиональной деятельности;

возможности получения информации для проведения анализа и обоснования предлагаемых решений.

Примерный перечень тем выпускных квалификационных работ разрабатывается выпускающей кафедрой и доводится до сведения обучающихся. Обучающийся может предложить свою тему, обосновав целесообразность ее разработки. Тема выпускной квалификационной работы может являться продолжением тем, ранее представленных обучающимся в рамках курсовых работ (проектов).

Для успешного выполнения выпускной квалификационной работы необходимо уже на первом этапе (выбор темы) четко сформулировать цель работы (отражающуюся в ее названии) и задачи.

После выбора темы, согласования ее с руководителем ВКР, обучающийся подает заявле-

ние на имя заведующего кафедрой об утверждении темы выпускной квалификационной работы (приложение 1).

Закрепление тем выпускных квалификационных работ за обучающимися оформляется приказом по университету. Следует иметь в виду, что **тема, утвержденная приказом ректора университета, изменению не подлежит**. Исключение могут составить лишь случаи возникновения объективных непреодолимых препятствий к ее разработке. Изменение оформляется приказом по университету на основании письменного заявления обучающегося и представления заведующего кафедрой.

1.1.5 Структура и содержание выпускной квалификационной работы

Структурные элементы выпускной квалификационной работы **перечислены ниже в порядке их расположения и брошюровки.**

1. Титульный лист (приложение 2)
2. Сопроводительные документы к выпускной квалификационной работе:

2.1 Задание на выполнение выпускной квалификационной работы (приложение 3).

2.2 Отзыв руководителя ВКР (приложение 4).

2.3 Отзыв рецензента (приложение 5).

2.4 Если результаты исследования нашли практическое применение, то прилагается документ, подтверждающий внедрение результатов исследования в практическую деятельность (приложение 6)

2.5 Справка о проверке с системе «Антиплагиат. ВУЗ» (приложение 7).

3. Содержание (приложение 8).
4. Введение.
5. Основная часть работы.
6. Заключение.
7. Список использованных источников (приложение 9).
8. Приложения.

Титульный лист должен содержать все необходимые идентификационные признаки, в частности, название работы, указание автора работы, руководителя.

На титульном листе подписью руководителя, консультанта (при наличии) подтверждается допуск выпускной квалификационной работы к защите.

Титульный лист учитывается в общей нумерации страниц выпускной квалификационной работы, порядковый номер на титульном листе не ставится.

Сопроводительные документы подшиваются следом за титульным листом работы, но в общей нумерации страниц выпускной квалификационной работы они не учитываются и порядковые номера на них не ставятся.

Цель составления *задания на выполнение выпускной квалификационной работы* – уяснение замысла работы и поставленных в ней основных проблем. Оформление задания на работу предполагает составление под контролем руководителя ВКР плана будущей работы.

Наличие *содержания* (плана работы) позволяет уйти от освещения вопросов, не относящихся к теме работы, обеспечить четкость и последовательность изложения материала, избежать пробелов и повторений, рационально организовать самостоятельный труд, сэкономить время.

Содержание работы помещают после справки о внедрении (если она есть). Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывают в виде заголовка симметрично тексту прописными буквами. В содержании работы указывается перечень всех глав и параграфов выпускной квалификационной работы, а также номера страниц, с которых начинается каждый из них (точно по тексту). Главы

в выпускной квалификационной работе должны иметь в пределах всей работы порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами. Параграфы каждой главы должны иметь нумерацию в пределах каждой главы. Номер параграфа состоит из номера главы и непосредственно номера параграфа в данной главе, отделенного от номера главы точкой. Заголовки содержания должны точно повторять заголовки в тексте. Сокращать или давать их в другой формулировке, последовательности и соподчиненности по сравнению с заголовками в тексте нельзя.

При этом надо иметь в виду, что названия глав и параграфов не должны дублировать друг друга, а также наименование темы работы. Каждая глава должна раскрывать часть темы, каждый параграф главы – часть содержания главы.

Введение, заключение, список использованных источников включают в содержание, но не нумеруют.

Пример оформления содержания выпускной квалификационной работы приведен в приложении 8.

Страницы содержания учитываются в общей нумерации страниц выпускной квалификационной работы, порядковый номер на странице не ставится.

Выполнение выпускной квалификационной работы рекомендуется начинать с написания «ВВЕДЕНИЯ». Естественно, в процессе исследования первичный текст введения будет меняться, иногда очень существенно. Но это не отрицает необходимости на начальном этапе поставить перед собой задачи исследования, отражаемые во введении.

«ВВЕДЕНИЕ» в общем случае имеет следующую структуру:

актуальность выбранной темы,

формулировка цели и определение конкретных задач исследования (они найдут отражение в содержании работы),

выбор объекта и предмета исследования,

информационная база исследования;

структура выпускной квалификационной работы.

Во введении следует коротко сформулировать актуальность темы исследования, т.е. причину возникновения проблемы и ее суть. Актуальность определяется как значимость, важность и приоритетность выбранной темы исследования среди других тем. Она должна подтверждаться положениями и доводами, свидетельствующими в пользу научной и практической значимости решения проблем и вопросов, исследуемых в работе. Необходимо объяснить, почему именно выбранная тема представляет интерес на современном этапе развития. Обоснование актуальности темы работы не должно быть многословным. Главное – показать, как автор оценивает своевременность и социальную значимость выбранной темы.

От доказательства актуальности следует перейти к формулировке цели исследования. Цель исследования – это образ желаемого результата, то, что намерен достичь автор работы.

Цель выпускной квалификационной работы должна соответствовать названию темы. Цель работы формулируется кратко и точно. Например, «Цель выпускной квалификационной работы – составление проекта на проведение эксплуатационной разведки в пределах северной части дайки Елизаветинская Березовского золоторудного месторождения». Конкретизация це- ли осуществляется в задачах исследования. «Исходя из поставленной цели, были поставлены следующие задачи выпускной квалификационной работы:

- обоснование методики эксплуатационной разведки;
- выбор технологии проходки горных выработок
- составление сметы на проведение проектируемых видов работ;
- расчет основных геолого-экономических показателей;
- оценка запасов по категории C_1».

Формулировки задач необходимо делать очень тщательно, так как описание их решения должно составить содержание последующих глав (параграфов) выпускной квалификационной работы.

Объект исследования – это процесс или явление, порождающее проблемную ситуацию и избранное для исследования. Выделение объекта происходит на основе анализа проблемы исследования.

Предмет исследования – это та часть объекта, которая и будет исследована. Предмет должен характеризовать тему выпускной квалификационной работы и включать в себя свойства и стороны объекта, которые следует рассмотреть в заявленной теме, установив пределы рассмотрения данного вопроса. Объект и предмет исследования соотносятся как общее и часть общего.

Объект и предмет исследования можно сформулировать так: «Объект исследования – Березовское золоторудное месторождение.

Предмет исследования – северная часть дайки Елизаветинская Березовского золоторудного месторождения».

Далее дается характеристика методов исследования. Методы исследования – основные приемы и способы, которые использовались при проведении исследования (диалектический метод, исторический метод, статистический и др.). В процессе обработки полученных данных практически всегда используются такие взаимосвязанные научные методы исследования, как анализ и синтез. Анализ – логический прием разделения целого на отдельные элементы и изучение каждого в отдельности и во взаимосвязи с целым. Синтез – объединение результатов для формирования (проектирования) целого.

После того, как сформулированы цель, задачи, объект и предмет, методы исследования, следует указать информационную базу и структуру ВКР:

«Информационная база выпускной квалификационной работы включает: труды ведущих отечественных и зарубежных авторов, посвященных проблемам ….., статьи, опубликованные в периодических изданиях, а также Интернет-ресурсы, …., статистические материалы.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав основного текста, заключения, списка использованных источников, приложений. Содержание работы изложено на 62 страницах машинописного текста и включает 2 таблицы. Библиографический список состоит из 35 источников».

Введение не должно превышать 2-3 страницы компьютерного набора.

Страницы введения учитываются в общей нумерации страниц работы, номер страницы проставляется.

Основная часть выпускной квалификационной работы

Основная часть работы состоит из разделов:

1 Геологический раздел

2 Методический раздел

3 Технический раздел

4 Экономический раздел

Текст работы излагается самостоятельно (не допускается дословное переписывание использованной литературы), последовательно, грамотно и аккуратно, при написании работы необходимо употреблять профессиональные термины, избегать сложных грамматических оборотов. Студент должен показать не только знание материала, но и умение разбираться в нем, творчески использовать основные положения источников. Материал, используемый из других источников, должен быть переработан, органически увязан с избранной студентом темой и изложен своими словами с приведением ссылок на источники информации.

Содержание выпускной квалификационной работы должно демонстрировать:

знакомство автора с учебной и научной литературой по теме выпускной квалификационной работы;

умение обобщать материал литературных источников, анализировать геологическую информацию, выявлять особенности геологических объектов, являющихся предметом исследования, выделить проблему и определить пути ее решения, последовательно изложить существо рассматриваемых вопросов, делать самостоятельные выводы;

владение понятийным и терминологическим аппаратом.

В тексте выпускной квалификационной работы следует избегать использования личных местоимений, заменяя их безличными формами (вместо «я считаю» - «автор считает», «мы полагаем»).

Рекомендуется использование вводных и соединительных слов – *таким образом, из этого следует, в связи и т.д.* – для подчеркивания причинно-следственных связей и выражения личного отношения к излагаемому материалу.

Все страницы основной части выпускной квалификационной работы участвуют в общей нумерации страниц, номера страниц проставляются.

«ЗАКЛЮЧЕНИЕ» выполняет роль концовки, обусловленной логикой проведенного исследования. Оно содержит изложение полученных итогов и их соотношение с общей целью и конкретными задачами, поставленными и сформулированными во введении. Именно здесь содержится «выводное» знание, полученное в результате исследования. В заключении указывается вытекающая из конечных результатов теоретическая и практическая ценность, значимость. Заключительная часть предполагает обобщенную итоговую оценку проделанной работы.

В «ЗАКЛЮЧЕНИИ» находят отражение основные положения и выводы, содержащиеся во всех главах работы. В нем отражаются степень решения поставленных задач, полученные результаты, указывается также где, и каким образом применение рекомендаций может принести практическую пользу в деятельности организации.

Объем заключения – 2-3 страницы.

Нумерация страниц, на которых приводится текст заключения, должна продолжать общую нумерацию страниц основного текста.

Список использованных источников является составной частью работы и отражает степень изученности рассматриваемой проблемы. При этом в список использованных источников включаются, как правило, те источники, на которые в работе имеются библиографические ссылки. Использованные источники должны содержать их полное описание по требованиям стандартов.

Порядок оформления списка использованных источников представлен в приложении 9.

Нумерация страниц, на которых приводится текст списка использованных источников, должна продолжать общую нумерацию страниц основного текста.

В *приложения* следует выносить вспомогательный материал, который при включении в основную часть работы загромождает текст.

К вспомогательному материалу относятся таблицы цифровых данных, инструкции, методики, иллюстрации вспомогательного характера, заполненные формы документов, выдержки из локальных нормативных актов и др.

Нумерация страниц, на которых даются приложения, должна продолжать общую нумерацию страниц основного текста.

Объем выпускной квалификационной работы должен составлять – 60 - 80 страниц компьютерного набора (без приложений).

При выполнении выпускной квалификационной работы обучающийся должен продемонстрировать навыки работы на персональном компьютере (например, статистическая обработка материалов, выполнение графических построений, проведения математических расчетов, использование программного обеспечения для решения конкретных задач, поставленных в работе).

1.1.6 Руководство выпускной квалификационной работой

Общее руководство и контроль за ходом выполнения ВКР осуществляет выпускающая кафедра в лице руководителя ВКР. Руководитель ВКР:

помогает обучающемуся с выбором темы и разработкой плана работы;

оформляет задание на выполнение выпускной квалификационной работы;

оказывает обучающемуся помощь в разработке календарного графика на весь период выполнения выпускной квалификационной работы;

рекомендует обучающемуся необходимую литературу;

систематически контролирует ход работы и информирует кафедру о состоянии дел;

дает подробный отзыв на законченную работу.

Проверяя работу, руководитель не должен превращаться в корректора или редактора, хотя замечания в этой части он тоже высказывает. Руководитель ВКР выявляет полноту, глубину и всесторонность рассмотрения поставленных в плане вопросов, последовательность изложения материала, достаточность использования литературы, аргументированность выводов, степень их обоснованности и самостоятельности. В случае обнаружения плагиата, ошибочных решений и научных положений по тем или иным вопросам, неполноты или поверхностности исследования, противоречивости, излишнего отклонения от темы и других недостатков руководитель предлагает выпускнику устранить их, рекомендует пути и сроки их устранения.

Руководитель ВКР помогает выпускнику на всех этапах его работы, но эта помощь не должна выливаться в соавторство. Отношения руководителя со обучающимся строятся на основе сотрудничества.

1.2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1.2.1 Основные этапы выполнения выпускной квалификационной работы

Соблюдение установленных сроков и последовательности выполнения выпускной квалификационной работы направлено на оптимизацию процесса достижения поставленных целей.

Рекомендуется следующая последовательность этапов выполнения выпускной квалификационной работы:

выбор темы работы, её утверждение;

подбор литературы, геологической документации и ознакомление с ними, составление литературного обзора по проблеме исследования;

сбор и обобщение аналитических материалов, анализ;

написание работы и представление её руководителю, доработка по замечаниям руководителя;

написание введения и заключения, подготовка списка использованных источников, приложений, представление работы руководителю ВКР;

прохождение нормоконтроля, исправление замечаний по оформлению работы;

проверка в системе «Антиплагиат. ВУЗ»;

размещение работы в портфолио;

подготовка к защите выпускной квалификационной работы: подготовка презентационных материалов, оформление документов на выпускную квалификационную работу.

1.2.2 Подготовка к защите выпускной квалификационной работы

Законченная ВКР, подписанная студентом, передается научному руководителю для проверки соответствия оформления работы предъявляемым требованиям и составления письменного отзыва руководителя. В отзыве руководителя указываются сведения об актуальности темы работы, достоинства и недостатки работы, практическая ценность работы, оценка подготовленности студента, инициативности и самостоятельности при решении задач выпускной квалификационной работы, умение студента работать с литературными источниками, и способность ясно и четко излагать материал, соблюдение правил и качества оформления работы. Особое внимание уделяется оценке выпускника по личностным характеристикам (ответственность, дисциплинированность, самостоятельность, активность, творчество, инициативность и т.д.), проявленным способностям к исследовательской деятельности, достигнутым результатам в формировании компетенций выпускника данной программы, мотивируется возможность или невоз-

можность представления выпускной квалификационной работы на защиту в государственной экзаменационной комиссии.

Решение научного руководителя является основанием для допуска кафедрой ВКР к защите. Допуск работы к защите производится заведующим выпускающей кафедры.

Текст ВКР должен быть проверен на объем заимствований в системе «Антиплагиат», отчет печатается. ВКР размещается в портфолио. Размещение ВКР – не позднее, чем за 3 дня до защиты.

Перед защитой студентом представляются в ГЭК следующие документы:

1) ВКР, подписанная на титульном листе выпускником, научным руководителем, консультантами (если есть) (Приложение А);

2) задание на выполнение работы с отметками сроков окончательной подготовки работы, подписанное научным руководителем и заключением кафедры о допуске к защите;

3) отзыв научного руководителя;

4) отзыв рецензента;

5) отчет о проверке в системе «Антиплагиат».

Готовясь к защите работы, студент составляет тезисы выступления, содержащего наиболее важные и интересные результаты исследования. При этом следует помнить о том, что выпускнику для доклада отводится ограниченное время;

оформляет наглядные пособия, раздаточный материал к докладу, продумывает ответы на замечания рецензента.

Работу над тезисами доклада следует начинать сразу же после представления работы на кафедру и продолжить после ознакомления с отзывом руководителя. На вопросы и замечания отзыва целесообразно подготовить письменные ответы.

Доклад на защите выпускной квалификационной работы, как правило, не должен превышать 7-10 мин. Следует помнить, что студент не просто излагает, а защищает положения своей работы.

1.2.3 Защита выпускной квалификационной работы

Защита выпускной квалификационной работы проводится на открытом заседании ГЭК.

Порядок защиты:

-председатель ГЭК объявляет фамилию, имя и отечество выпускника, название работы с указанием места ее выполнения;

-доклад продолжительностью, как правило, не более 7-10 минут, в течении которых он должен кратко сформулировать актуальность, цель и задачи работы, изложить основные результаты, выводы и рекомендации, конкретные предложения, обосновать возможность их реализации, эффективность. При этом необходимо уточнить личный вклад в разработку проблемы.

Студент может пользоваться заранее подготовленным тезисами доклада, но должен излагать основное содержание своей выпускной квалификационной работы свободно, не читая письменного текста. При чтении утрачивается эмоциональность изложения, монотонное чтение текста не привлекает внимания и утомляет слушателей. Свободный рассказ по теме свидетельствует об уровне подготовки и глубине специальных знаний по проблеме выпускной квалификационной работы. Все это существенно влияет на итоговую оценку работы.

Все принципиальные положения выпускной квалификационной работы для большей наглядности могут быть представлены на демонстрационном материале. К демонстрационным материалам относится информация из выпускной квалификационной работы (таблицы, диаграммы, схемы, иллюстрации и пр.), оформленная в виде презентаций или ксерокопий для каждого члена ГЭК. Во время доклада необходимо ссылаться на эти материалы;

-после окончания доклада члены ГЭК и присутствующие на защите предлагают выпускнику вопросы, касающиеся устного выступления, имеющие непосредственное отношение к теме работы, или же просто в связи с обсуждаемой проблемой;

- зачитывается внешняя рецензия на выпускную квалификационную работу;

-выступление руководителя выпускной квалификационной работы, а в случае его отсутствия секретарь ГЭК зачитывает отзыв руководителя;

- председатель ГЭК предоставляет желающим слово для выступления, затем выпускнику, которое предполагает ответы на замечания рецензента и всех, выступивших при обсуждении работы, после чего объявляет об окончании защиты.

После окончания открытой защиты проводится закрытое заседание ГЭК (возможно с участием руководителей), на котором определяются итоговые оценки по четырехбалльной системе («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»). После закрытого обсуждения председатель объявляет решение ГЭК. Протокол заседания ГЭК ведется секретарем. В него вносятся все заданные вопросы, особые мнения, решение комиссии об оценке.

II КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Оценка выпускной квалификационной работы производится по четырем группам критериев:

Система оценивания по оценочным средствам государственной итоговой аттестации

Оценочное средство	Максимальная стоимость в баллах	Критерии начисления баллов
Выпускная квалификационная работа	0-70 балл	Качество выполненной работы, ее научно-теоретический уровень, степень самостоятельности и логичность изложения материала, правильность оформления и результат ее защиты
Отзыв руководителя ВКР	0-10 баллов	Ответственность, дисциплинированность, стремление к достижению высоких результатов самостоятельность, добросовестность в выполнении ВКР, контактность….
Отзыв рецензента ВКР	0-10 баллов	Теоретическая значимость исследования; анализ представленных методик исследования; практическая значимость исследования; степень полноты обзора состояния проблемы и корректность постановки задачи; уровень и корректность использования в работе методов исследования
Ответы на вопросы (проверка компетенций)	0-10 баллов	Полнота и правильность ответа
Итого	100 баллов	

Оценка по итогам государственной итоговой аттестации определяется простым суммированием баллов:

Критерии оценки	*Количество баллов*
Критерии содержания ВКР	
обоснованность выбора и актуальность темы исследования	0-5
обоснование практической и теоретической значимости исследования	0-5
уровень теоретической проработки проблемы, осмысления теоретических вопросов и обобщения собранного материала	0-5
умение представить литературный обзор проблемы исследования; широта и	0-5

качество использованных источников	
объем и уровень анализа профессиональной, научной литературы, релевантность, полнота, корректность и содержание цитирования	0-5
наличие в ВКР результатов, которые в совокупности решают конкретную научную и (или) практическую задачу, или - результатов (теоретических и (или) экспериментальных), которые имеют существенное значение для развития конкретных направлений в определенной отрасли науки (деятельности), или – научно-обоснованных разработок, использование которых в полном объёме обеспечивает решение прикладных задач	0-5
умение логические верно, аргументированно и ясно излагать материалы исследования в ВКР: обоснованность и четкость сформулированных выводов	0-5
умение использовать компьютерные технологии в режиме пользователя для решения профессиональных задач	0-5
Критерии оформления ВКР	0-10
владение научным стилем изложения, орфографическая и пунктуационная грамотность	0-5
соответствие формы представления работы требованиям, предъявляемым к оформлению данных работ	0-5
Критерии процедуры защиты	0-15
качество устного доклада: соответствие доклада содержанию работы, логичность, точность формулировок, обоснованность выводов, культура речи; владение профессиональной терминологией и навыками профессиональной аргументации	0-5
презентационные навыки: структура и последовательность изложения материала, соблюдение временных требований, использование презентационного оборудования и/или раздаточного материала, грамотность оформления иллюстрационных материалов, выразительность использования, контакт с аудиторией	0-5
поведение при защите (коммуникационные характеристики (культура) докладчика (речь, манера говорить, отстаивать свою точку зрения, привлекать внимание к важным моментам в докладе или ответах на вопросы)	0-5
качество ответов на вопросы членов ГЭК: логичность, глубина, правильность и полнота ответов	0-5
Отзыв рецензента ВКР	0-10
теоретическая значимость исследования; анализ представленных методик исследования; практическая значимость исследования; степень полноты обзора состояния проблемы и корректность постановки задачи; уровень и корректность использования в работе методов исследования; степень комплексности работы, применение в ней знаний социально-гуманитарных дисциплин, естественно-математических, общепрофессиональных и специальных дисциплин; ясность, четкость, последовательность и обоснованность изложения.	0-10
Отзыв руководителя ВКР	0-10
ответственное отношение к работе, дисциплинированность, стремление к достижению высоких результатов, самостоятельность, добросовестность в выполнении работы, соблюдение сроков представления материалов, контактность	0-5
владеет навыками самостоятельного получения новых знаний, использования современных технологий	0-5
Теоретические вопросы	0-10

качество ответов на вопросы членов ГЭК: правильность и полнота ответов	0-10
Итого баллов	100

Правила оценивания результатов защиты ВКР

80-100 баллов (80-100%) – оценка **«отлично»;**
65-79 баллов (65-79 %) – оценка **«хорошо»;**
50-64 балла (50-69%) – оценка **«удовлетворительно;**
0-49 баллов (0-49%) – оценка **«неудовлетворительно».**

III ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Оценочными средствами результатов обучения на этапе государственной итоговой аттестации являются выпускная квалификационная работа (в которой выпускнику предлагается по поставленной научно-практической проблеме сформулировать самостоятельно гипотезы, цель, сделать разработку программы эмпирического исследования, собрать информацию, проанализировать ее, провести необходимые расчеты, построить модели, предложить варианты решения проблемы и обосновать показатели оценки результативности) и ее защита по установленной процедуре (доклад, презентация, ответы на вопросы государственной экзаменационной комиссии), позволяющей сделать вывод о сформированности компетенций, теоретические вопросы.

3.1 ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

1. Проект геофизических работ с целью детализации геологического строения участка на участке.
2. Проект геофизических изысканий на лицензионном участке (ЯНАО)
3. Проект промыслово-геофизических работ на нефтяном месторождении с целью контроля его разработки
4. Районирование территории геолого-геофизическими методами на северной окраине Ивделя (Свердловская область)
5. Построение физико-геологической модели Северо- Тарашской группы железорудных месторождений
6. Проект промыслово-геофизических работ на месторождении с целью контроля за его разработкой.
7. Поиск золоторудных месторождений методом ВП-СГ
8. Проект геофизических работ на Ватлорском месторождении с целью контроля за его разработкой. (Западная Сибирь)
9. «Проект на проведение гравимагнитных работ в масштабе 1:10000 в республике Саха (Якутия)»

3.2 *Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность универсальных компетенций:*

1. Каково значение коммуникативных навыков для успешной деятельности производственного коллектива?

2. В чем вы видите основные причины необходимости овладения навыками общения на иностранном языке для успешного решения профессиональных задач в современных условиях?

3. В чем проявляется толерантность в восприятии социальных, этнических, конфессиональных и культурных различий?

4. Чем обусловлена необходимость овладения правовой культурой для достижения высоких экономических результатов в современных условиях?

5. Какая формулировка образовательных потребностей специалиста в современных условиях является более актуальной: «образование для всей жизни» или «образование в течение всей жизни»?

6. Возможна ли успешная профессиональная самореализация работника без формирования потребности и способности к самоорганизации и самообразованию?

7. В чем вы видите значение здорового образа жизни, овладения методами и средствами физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности?

8. Чем обусловлена в настоящее время необходимость овладения приемами первой помощи, методами защиты в условиях чрезвычайных ситуаций?

3.3 *Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность общепрофессиональных компетенций:*

1 В чем Вы видите основные причины необходимости овладения навыками логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь?

2 Зачем необходимо повышать уровень своей профессиональной компетентности?

3 В чем вы видите основные причины необходимости овладения навыками профессионального общения на иностранном языке?

4 Какие информационные технологии использовались при выполнении работы?

5 Какие профессиональные задачи были решены при выполнении работы?

6 Какие методы применялись при выполнении экономической оценки объекта?

7 Каково значение информации в развитии современного информационного общества?

8 Какие методы защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий предусмотрены в проекте?

9 Аналитическая база, используемая при выполнении работы?

10 Как вы оцениваете свой вклад в представленную работу?

3.3 *Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность профессиональных компетенций:*

1 Проанализировав геологическую ситуацию в пределах участка, сформулируйте необходимость постановки конкретной стадии геологоразведочных работ на объекте?

2 Преедпосылки к проведению геофизических работ?

3 Геофизические работы текущего года?

4 Выбор комплекса методов?

5 Какие специализированные компьютерные программы использованы для обработки фактического материала?

6 Обоснуйте необходимость применения запроектированных геофизических методов?

7. Какова рентабельность проектируемых работ?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Форма заявления на утверждение темы выпускной квалификационной работы

Зав. кафедрой _
_____
обучающегося группы _____
_____

Заявление
на утверждение темы выпускной квалификационной работы

Прошу утвердить тему выпускной квалификационной работы (из числа предложенных университетом):

_____
_____

Прошу утвердить самостоятельно определенную тему выпускной квалификационной работы

_____
_____

Место прохождения производственной (преддипломной) практики:

_____
_____

Руководитель ВКР _____
(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, должность)

Дата _ Подпись обучающегося _

Решение зав. кафедрой

«УТВЕРЖДАЮ»

_____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Форма оформления титульного листа выпускной квалификационной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРИАТ/СПЕЦИАЛИТЕТ /МАГИСТРАТУРА)

ТЕМА: _

_____

Факультет:_____

Направление/Специальность:
_____

Профиль/специализация:
_____

Квалификация:
_____

Кафедра:

Обучающийся: _____(*подпись*)
Фамилия И.О.
Группа:

*Руководитель:*_____(*подпись*)
Фамилия И.О.

Консультант: (*подпись*)
Фамилия И.О.

_____
(подпись)
Допустить к защите:

Зав.кафедрой

(Фамилия И.О., ученая степень, ученое звание)

Екатеринбург
20__

Пример оформления задания на выполнение выпускной квалификационной работы

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВО «УГГУ»)

Факультет геологии и геофизики
Кафедра геофизики (ГФ)
Специальность 21.05.03 „Технология геологической разведки"
Специализация „Геофизические методы поисков и разведки МПИ"

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой _____
«____» _____ 201 г.

ЗАДАНИЕ
ПО ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Студенту Афанасьевой Юлии Валерьевне
(фамилия, имя, отчество полностью)

1. Тема дипломного проекта (работы) Проект ядерно-геофизических исследований скважин Северо-Уренгойского месторождения с целью определения газоводяного контакта
утверждена приказом по университету № 1 от «____» _____ 201 г.
2. Срок сдачи студентом дипломного проекта (работы) «15» июня 2019 г.
3. Исходные данные к дипломному проекту (работе)
1. Материалы производственной практики
2. Литературные источники

4. Содержание расчетно – пояснительной записки:
4.1. Общий раздел
Введение
1. Общие сведения о районе работ
2. Геологическое строение района работ и месторождения
3. Геологические и физические предпосылки к постановке

4.2. Технологический раздел
геофизических исследований скважин
4. Анализ ранее проведенных геофизических исследований
5. Методика проектируемых работ
6. Спецглава: „Изучение пространственного распределения нейтронов при проведении нейтрон-нейтронного каротажа"

4.3. Специальный раздел
7. Производственно-техническая часть проекта
8. Безопасность жизнедеятельности
Заключение

4.4. Экономическое обоснование
смета

4.5. Безопасность жизнедеятельности Охрана окружающей среды
Охрана труда на предприятии

5. Графический материал

1. Обзорная карта Северо-Уретойского месторождения
2. Литолого-стратиграфическая колонка
3. Тектоническая карта
4. Карта-геофизические характеристики пород разреза
5. Аппаратура ГИС
6. Диаграммы ГИС
7. Иллюстрации к спецглаве

6. Консультанты по разделам дипломного проекта (работы):

Фамилия, имя, отчество	Место работы, должность, ученая степень, звание	Раздел дипломного проекта (работы)
Кузьмин В.С.	доцент, к.т.-н.н.	2
Жуков В.Г.	доцент, к.э.н.	7

Ф., И., О. руководителя дипломного проекта (работы) Александрова Ш.Н.
Ученая степень к.т.-н.н. ученое звание доцент

7. График выполнения дипломного проекта (работы)

Наименование раздела дипломного проекта	Срок выполнения
Введение, глава 1, глава 2	25.05.19
Глава 3, глава 4, глава 5	01.06.19
Глава 6, глава 7, глава 8, заключение	15.06.19

Дата выдачи задания «20» мая 2019 г.
Руководитель дипломного проекта (работы) _____ (подпись)
Задание по дипломному проектированию получил _____ (подпись)

Примечание: Задание оформляется в 2-х экземплярах, один из которых хранится на кафедре
Другой выдается студенту и подшивается к расчетно – пояснительной записке.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Примерная форма отзыва руководителя выпускной квалификационной работы

ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Выпускная квалификационная работа выполнена
Обучающимся _____
Направление подготовки _____
/специальность _____
Кафедра _____
Группа _____
Руководитель ВКР _____

Общая характеристика работы студента в период выполнения ВКР: _____
_____
_____

Актуальность темы _____
_____

Степень достижения целей ВКР _____
_____

Общая характеристика теоретической части (глубина разработки проблемы, логика изложения и проч.)_____

Общая характеристика практической части работы (наличие элементов практической новизны, наличие и значимость практических предложений и рекомендаций)_____

Степень владения профессиональными знаниями, умениями и навыками _____
_____

Замечания к ВКР _____
_____

Заключение: _____

Руководитель: _____ «___» 20 г.
подпись

Обучающийся: _____ «___»_____20 г.
подпись

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Примерная форма отзыва рецензента о выпускной квалификационной работе

ОТЗЫВ
РЕЦЕНЗЕНТА О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Фамилия И.О. выпускника _____
Специальность _____
Профиль/специализация _____
_____

Тема рецензируемой работы _____
Рецензент место работы, должность (при наличии) _____
_____

Заключение о степени соответствия выпускной квалификационной работы заданию_

Оценка теоретической части ВКР (теоретическая значимость исследования, анализ использованных источников)_

_____

Оценка аналитической части ВКР (анализ представленных методик исследования)_

_____

Оценка проектной части ВКР (практическая значимость исследования)_

_____

Логичность, четкость, грамотность изложения материала _____

_____

Оценка сформированности компетенций, предусмотренных федеральным государственным образовательным стандартом:

ВКР демонстрирует (высокий, средний, низкий) уровень сформированности универсальных компетенций и (высокий, средний, низкий) уровень сформированности общепрофессиональных и профессиональныхкомпетенций.

Замечания и рекомендации (к публикации, внедрению, представлению на конкурс) по ВКР_

_____

Общая оценка ВКР _____

Рецензент: _____ Фамилия И.О. Обучающийся: _____ Фамилия И.О.
(подпись) (подпись)

«____»_____20 г. «____»_____20 г.

М.П

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

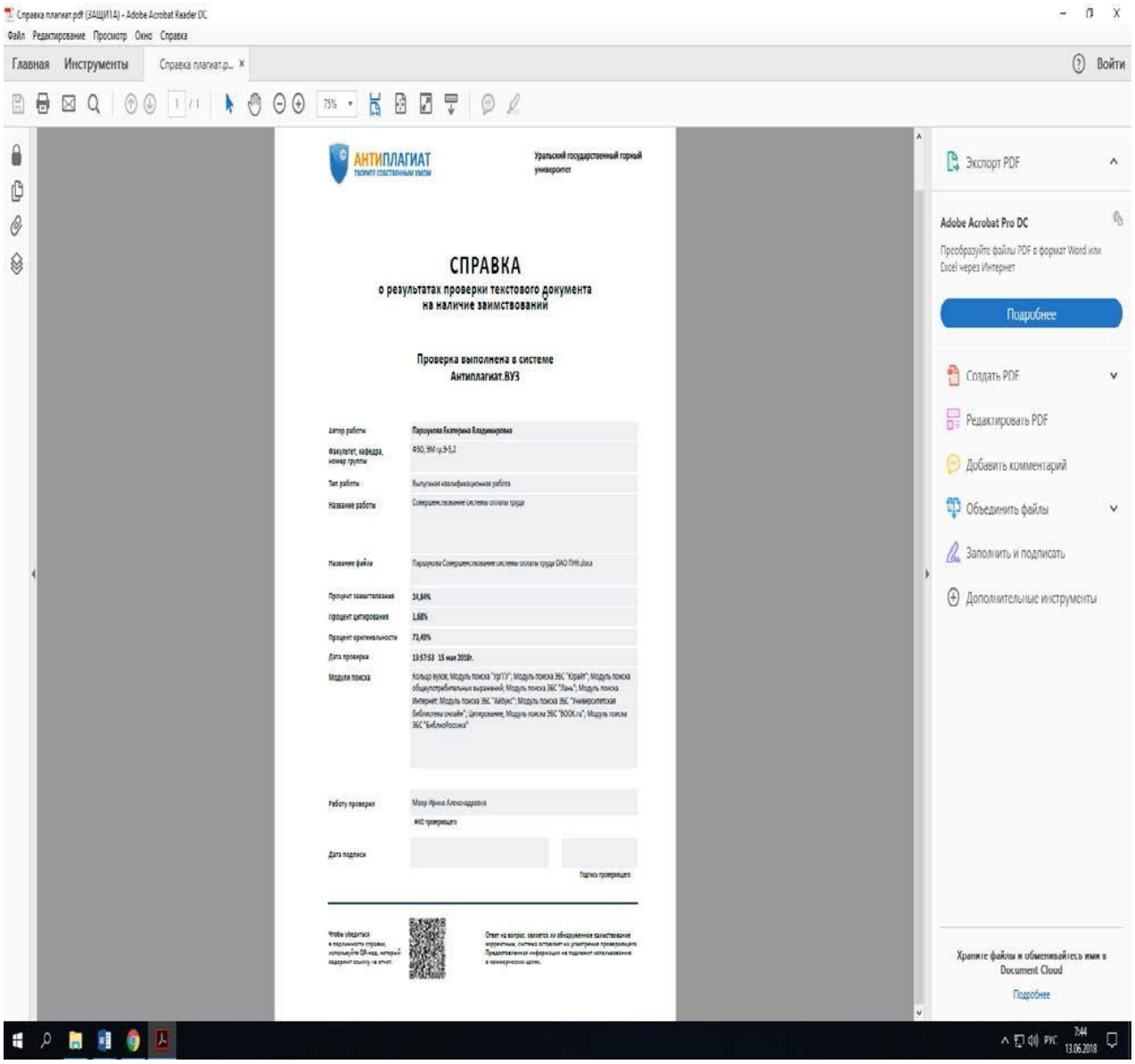
Пример оформления документа, подтверждающего использование результатов выпускной квалификационной работы

СПРАВКА
об использовании результатов выпускной квалификационной работы
на тему: «Проект ГИС с целью определения ФЕС Федоровского нефтяного месторождения»

Выводы и предложения, представленные в исследовании Жуклина Е.А., нашли применение в практической деятельности.

Рекомендации автора по совершенствованию методики определения ФЕС взяты за основу при разработке перспективных направлений развития.

Директор Фамилия И.О.
ВНИИГИС (подпись)
М.П.



Справка плагиат.pdf (ЗАЩИТА) - Adobe Acrobat Reader DC

Файл Редактирование Просмотр Окно Справка

Главная Инструменты Справка плагиат.р... Войти

АНТИПЛАГИАТ
ТВОРИТЬ СОБСТВЕННЫМ УМОМ

Уральский государственный горный университет

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Паршукова Екатерина Владимировна
Факультет, кафедра, номер группы	Ф90, ЭМ гр.3-5.2
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	Совершенствование системы оплаты труда
Название файла	Паршукова Совершенствование системы оплаты труда ОАО ПНК.docx
Процент заимствования	24,84%
процент цитирования	2,68%
Процент оригинальности	73,49%
Дата проверки	13:57:53 15 мая 2018г.
Модули поиска	Кольцо вузов; Модуль поиска "ГГТУ"; Модуль поиска ЭБС "Юрайт"; Модуль поиска общеупотребительных выражений; Модуль поиска ЭБС "Лань"; Модуль поиска Интернет; Модуль поиска ЭБС "Айбукс"; Модуль поиска ЭБС "Университетская библиотека онлайн"; Цитирование; Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"; Модуль поиска ЭБС "ЮМЛибРоссика"
Работу проверил	Моор Ирина Александровна ФИО проверяющего
Дата подписи	Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

Экспорт PDF

Adobe Acrobat Pro DC

Преобразуйте файлы PDF в формат Word или Excel через Интернет

Подробнее

Создать PDF

Редактировать PDF

Добавить комментарий

Объединить файлы

Заполнить и подписать

Дополнительные инструменты

Храните файлы и обменивайтесь ими в Document Cloud

Подробнее

РУС 7:44 13.06.2018

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Пример структуры и оформления содержания выпускной квалификационной работы Пример структуры и оформления содержания выпускной квалификационной работы

ВВЕДЕНИЕ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ РАБОТ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА И УЧАСТКА РАБОТ**Ошибка! Закладка не определена.**

2.1. Геологическая позиция и общая геологическая характеристика района работ**Ошибка! Закладка не определена.**

2.2. Стратиграфия .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.3. Магматизм .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.4. Тектоника.....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.5. Метаморфизм .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.6. Полезные ископаемые .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.7. Гидрогеологическая характеристика района работ**Ошибка! Закладка не определена.**

2.8. Геологическое обоснование выбора участка работ и геологическое строение участка работ **Ошибка! Закладка не определена.**

3. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

3.1. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых района работ**Ошибка! Закладка не определена.**

4. АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ, РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ НА УЧАСТКЕ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ, ПРОВЕДЕННЫХ НА УЧАСТКЕ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ С. БРОДОКАЛМАК.....**Ошибка! Закладка не определена.**

6. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРУЕМЫХ РАБОТ. АППАРАТУРА**Ошибка! Закладка не определена.**

6.1. Выбор и обоснование комплекса методов электроразведки**Ошибка! Закладка не определена.**

6.2. Аппаратура для проведения работ методом ВЭЗ**Ошибка! Закладка не определена.**

6.3. Аппаратура для проведения работ методом срединного градиента**Ошибка! Закладка не определена.**

6.4. Методика и техника работ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

6.5. Камеральная обработка и интерпретация результатов работ**Ошибка! Закладка не определена.**

7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**Ошибка! Закладка не определена.**

7.1. Мероприятия по охране труда и безопасному ведению работ**Ошибка! Закладка не определена.**

7.2. Мероприятия по охране окружающей среды...**Ошибка! Закладка не определена.**

8. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА.....**Ошибка! Закладка не определена.**

8.1. Сводный перечень проектируемых работ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

8.2. Сводная смета.....**Ошибка! Закладка не определена.**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....**Ошибка! Закладка не определена.**
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....**Ошибка! Закладка не определена.**

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Примеры библиографических описаний, применяемых при оформлении списка использованных источников

1. Об основополагающих принципах и правах в сфере труда и механизм её реализации [Текст]: Декларация МОТ от 18.06.1998 // МБТ.1998.

2. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]: Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». - Режим доступа: http://www.consultant.ru.

3. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ (в ред. от 05.10.2015) – Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». - Режим доступа: http://www.consultant.ru.

4. О безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 28.12.2010 г. № 390-ФЗ – Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». - Режим доступа: http://www.consultant.ru.

5. Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов власти субъектов Российской Федерации [Текст]: Федеральный закон от 06.10.1999 г. № 184-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1999. - № 43.

6. О концепции национальной безопасности Российской Федерации [Текст]: Указ Президента Российской Федерации от 10 января 2000 г. № 24 // Собрание законодательства РФ. - 2000. - № 2.- Ст.170.

7. О порядке разработки и утверждения административных регламентов исполнения государственных функций (предоставления государственных услуг) [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 11.11.2005 г. № 679. - Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

8. Булаевский, Б.А. Правовое положение несовершеннолетних по российскому гражданскому законодательству [Текст]: Автореф. дисс. … к.ю.н. М., 1998.

9. Гаврилов, Э. О наименовании юридического лица [Текст] / Э.О. Гаврилов // Хозяйство и право. - 2011. - № 12. - С. 3 – 11.

10. Мачульская, Е.Е. Право социального обеспечения [Текст]: учебник для бакалавров / Е.Е. Мачульская. – М.: Изд-во Юрайт, 2012. – 575 с.

11. Черткова, Е.Л. Утопия как способ постижения социальной действительности [Электронный ресурс] / Е.Л. Черткова // Социемы: журнал Уральского гос. ун-та. – 2002. - № 8. – Режим доступа: http://2www/usu.ru/philosoph/chertkova.

12. Цивилистические записки: [Текст]: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 2. – М.: «Статут» - Екатеринбург: Институт частного права, 2002. – 511 с.

13. Юридический советник [Электронный ресурс]. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): зв., цв.; 12 см. – Прил.: Справочник пользователя [Текст]/ сост. В.А. Быков. – 32 с.

14. Временные методические рекомендации по вопросам реструктуризации бюджетной сферы и повышения эффективности расходов региональных и местных бюджетов (Краткая концепция реструктуризации государственного и муниципального сектора и повышения эффективности бюджетных расходов на региональном и местном уровнях) [Текст]. - М.: ИЭПП, 2006. - 67 с.

15. Свердловская область в 1992-1996 годах [Текст]: Стат. сб./ Свердл. обл. комитет гос. статистики Госкомстата РФ. – Екатеринбург, 1997. – 115 с.

16. Социальное положение и уровень жизни населения России в 2010 г. [Текст]: Стат. сб. / Росстат. – М., 2011. – 320 с.

17. Социально-экономическое положение федеральных округов в 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.gks. Ru.

18. An Interview with Douglass C. North [Text] // The Newsletter of The Cliometric Society. - 1993. - Vol. 8. - N 3. - P. 23–28.

19. Burkhead, J. The Budget and Democratic Government [Text] / Lyden F.J., Miller E.G. (Eds.) / Planning, Programming, Budgeting. Markham: Chicago, 1972. 218 p.
20. Miller, D. Strategy Making and Structure: Analysis and Implications for Performance [Text] // Academy of Management Journal. - 1987. - Vol. 30. - N 1. - P. 45–51.
21. Министерство финансов Российской Федерации: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minfin.ru.
22. Российская книжная палата: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.bookchamber.ru.
23. Инструкция по делопроизводству в ООО «СК-групп» [Текст]. - Екатеринбург, 2012. – 26 с.
24. Бухгалтерский отчет ЗАО «ФНК» за 2012 год [Текст]. - Екатеринбург, 2013. – 14 с.
25. Правила внутреннего трудового распорядка АО «Маяк» [Текст]. - Екатеринбург, 2010. – 22 с.

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

А. А. Редозубов, В. Г. Жуков

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ВКР) ИНЖЕНЕРА

Учебное пособие для написания ВКР для специальности 21.05.03 Тезхнология геологической разведки специализации «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых»

Издательство
Уральского государственного горного университета

Екатеринбург – 2020

УДК 550

Рецензент: *Давыдов А. В.*, доктор геол.-мин. наук, профессор

кафедры геоинформатики УГГУ

Р33 Методические указания по выполнению выпускной квалификационной работы (ВКР) инженера для студентов специальности 21.05.03 Тезхнология геологической разведки специализации «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых»*А. А. Редозубов, В. Г. Жуков*; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 39 с.

Пособие представляет конспект лекций по курсу « Интерпретация данных ГИС», читаемый студентам очного обучения. В нём одновременно с изложением теоретических основ интерпретации содержатся рекомендации по выполнению соответствующих практических работ и приводится часть заданий. Предполагается, что некоторые исходные материалы для выполнения практических работ будут выдаваться индивидуально на аудиторных занятиях.

В методических указаниях изложены сведения о порядке подготовки и защиты ВКР инженера (дипломный проект, дипломная работа), а также рекомендации по порядку изложения, объему и оформлению каждого раздела пояснительной записки и графических приложений.
Для студентов очного и заочного обучения

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР…….. 4

2. ТЕМАТИКА ВКР И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ…… 5

3. СТРУКТУРА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА…… 6

4. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА.. 8

4.1. Аннотация…….. 8

4.2. Введение……. 9

4.3. Общие сведения о районе работ…….. 9

4.4. Геолого-геофизическая изученность…….. 10

4.5 Геологическое строение района и участка работ…... 10

4.6. Физико-геологические предпосылки для постановки геофизических работ…….. 12

4.7. Анализ результатов геофизических работ ранее проведенных в районе …… 14

4.8. Методика проектируемых работ……. 14

4.9. Специальная часть…… 15

4.10. Обеспечение безопасности жизнедеятельности….. 16

5. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЧАСТЬ…… 17

5.1. Общие положения……. 17

5.2. Предполевые работы и проектирование……. 18

5.3. Полевые геофизические работы…….. 19

5.4. Топографо-геодезические работы…….. 23

5.5. Камеральные работы при геофизических исследо-

ваниях……..... 24

5.6. Определение стоимости и составление смет на геологоразведочные работы…… 24

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ВКР В ФОРМЕ ДИП-ЛОМНОЙ РАБОТЫ…….. 25

6.1. Структура дипломной работы…….. 25

6.2. Содержание дипломной работы……..... 26

7. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ВКР…… 27

8. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ ВКР…….. 30

ОСНОВНАЯ РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА…….. 31

ПРИЛОЖЕНИЯ……. 33

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР

Выполнение выпускной квалификационной работы является заключительным этапом обучения в высшем учебном заведении. Это самостоятельная учебная работа студента, направленная на обобщение, закрепление и углубление приобретенных во время обучения теоретических знаний и практических навыков и применение их для решения конкретной производственной или научной задачи.

ВКР может выполняться в виде типового дипломного проекта или в виде дипломной работы. В первом случае ставится задача проверить умение будущего инженера решать конкретные геологические (или иные) задачи геофизическими методами, правильно эти задачи формулировать и составлять проект их реализации. Во втором случае студент должен показать способность самостоятельно решать конкретные методические или теоретические вопросы геофизической разведки.

Разработка ВКР требует от студента полной мобилизации его творческих возможностей, целенаправленного труда в течение всего периода дипломирования. Желательно, чтобы работа над специальным заданием – наиболее творческой частью дипломного проекта – начиналась еще до начала дипломирования, во время производственной практики и учебного семестра. Тем более это желательно, когда ВКР выполняется в виде работы исследовательского характера.

Наиболее высокой оценки заслуживают ВКР, представляющие реальную ценность в прикладном или научном отношении. Государственной Аттестационной комиссией ВКР или ее специальная глава может быть признана реальной при выполнении хотя бы одного из следующих условий:

- ВКР выполнена по заданию предприятия (организации) или предприятие документально подтверждает использование результатов работы;

- материалы ВКР опубликованы в виде статьи, доклада или включены в отчеты предприятия, где студент проходил практику или в отчеты о НИР кафедры;

- разработанная студентом установка, прибор, компьютерная программа и т. п. используется в учебном процессе или научно-исследовательской работе.

Законченная выпускная квалификационная работа с отзывом руководителя и рецензией специалиста сторонней организации, назначенного заведующим кафедрой, представляется для публичной защиты. При успешной защите Государственная Аттестационная комиссия присваивает автору ВКР квалификацию инженера.

2. ТЕМАТИКА ВКР И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Если ВКР выполняют в форме дипломного проекта, в теме должна быть указана цель проектируемых работ, например: общие поиски или специализированные поиски конкретных объектов, поисково-оценочные работы на конкретных объектах, предварительная или детальная разведка, геологическое картирование, гидрогеологические или инженерно-геологические исследования (и их цель) и т. п. Должен быть указан район проектируемых работ. В отдельных случаях могут быть указаны проектируемые геофизические методы и масштаб работ, но, как правило, эти параметры проекта должны выбираться и обосновываться самим студентом. Обычно проект составляют для условий того района, где студент проходил производственную практику.

Примеры тем дипломного проекта:

-«Проект геофизических работ с целью поисков золото-сульфидных месторождений в конкретном районе»;

-«Проект геофизических работ в помощь геологическому картированию масштаба 1:25000 при доизучении конкретной площади»;

-«Проект инженерно-геофизических исследований для геологического обеспечения проектирования строительства объекта (указать какого)».

Исходными материалами для составления дипломного проекта, как правило, должны служить материалы, собранные в период производственной практики. Для дипломирования необходимо собрать не только результативные материалы из отчетов и проектов, но и первичные результаты наблюдений, которые студент должен обработать и проинтерпретировать в процессе работы над ВКР. Необходимо также собрать материалы, нужные для составления экономической части проекта. Особое внимание следует обратить на сбор сведений о нормах и стоимости работ для новых методов и методик, не включенных в нормативные документы. В отдельных случаях, когда студент по объективным причинам не смог во время практики собрать достаточный материал для дипломирования, ему может быть предложена тема, для которой можно найти необходимый материал без выезда в удаленные пункты.

Вместо дипломного проекта студент по согласованию с кафедрой может выполнять работу исследовательского или конструкторского характера. В этом случае он должен самостоятельно разработать актуальный вопрос методики или теории разведочной геофизики, или разработать прибор или установку, или составить программу для интерпретации результатов геофизических исследований по собственному оригинальному алгоритму.

Примеры тем дипломных работ:

-«Построение физико-геологических моделей на основе анализа физических свойств горных пород и особенностей геологического строения рассматриваемого участка или на основе комплексной интерпретации геолого-геофизических данных»;

-«Анализ новых методик геофизических исследований и интерпретации геофизических материалов»;

-«Разработка и изготовление прибора или установки (указать каких) для учебных или производственных целей».

3. СТРУКТУРА ВКР В ФОРМЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Дипломный проект состоит из пояснительной записки (обычный объем 70-100 страниц) и графических приложений (демонстрационных плакатов), выполненных на листах формата А1. Некоторые приложения могут быть выполнены на листах других стандартных форматов. Небольшие рисунки, которые нет необходимости выносить на демонстрационные плакаты, помещают в тексте. Кроме того, в тексте следует продублировать в уменьшенном масштабе графические материалы с демонстрационных плакатов, за исключением имеющих очень большие размеры (например, геологическая карта района работ). Вместо демонстрационных плакатов можно изготовить электронный вариант чертежей, и на защите пользоваться мультимедийным проектором. Диск с электронной версией графических приложений должен быть приложен к ВКР. Наиболее важные графические материалы рекомендуется продублировать на 1-2 демонстрационных плакатах или распечатать слайды и передать копии членам ГАК. Если работа содержит объемный табличный материал, его следует поместить в конце пояснительной записки в качестве текстовых приложений.

Перечень разделов и подразделов текстовой части дипломного проекта (в скобках указан примерный объем в страницах):

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ (1)

АННОТАЦИЯ (1)

ОГЛАВЛЕНИЕ (1-2)

ВВЕДЕНИЕ (1-2)

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ РАБОТ (2-4)

2. ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ РАЙ-ОНА РАБОТ (5-7)

2.1. Геологическая изученность

2.2. Геофизическая изученность

3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА И УЧАСТКА РАБОТ (15-17)

3.1. Геологическая позиция и общая геологическая характеристика района работ

3.2. Стратиграфия

3.3. Магматизм

3.4. Тектоника

3.5. Метаморфизм

3.6. Полезные ископаемые

3.7. Гидрогеологическая характеристика района работ

3.8. Геологическое обоснование выбора участка работ и геологическое строение участка работ.

4. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ (8-12)

4.1. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых района работ

4.2. Геолого-геофизическая характеристика объектов поисков и объектов – геологических помех

4.3. Физико-геологические модели объектов поисков и объектов-помех, оценка возможности применения различных геофизических методов

5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ В РАЙОНЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ (10-12)

6. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРУЕМЫХ РАБОТ(10-15)

6.1 Выбор и обоснование комплекса методов

6.2. Методика и техника работ каждым методом

6.3. Камеральная обработка и интерпретация результатов работ

7. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ (10-15)

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

8.1. Мероприятия по охране труда и безопасному ведению работ

8.2. Мероприятия по охране окружающей среды

9. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (1)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

СПИСОК ГРАФИЧЕСКИХ И ИНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ, НЕ ВКЛЮЧЕННЫХ В ПОЯСНИТЕЛЬНУЮ ЗАПИСКУ

Возможно объединение близких по содержанию подразделов небольшого объема и введение подразделов, не указанных в перечне. Возможна перестановка разделов и подразделов, если этого требует логика изложения материала.

4. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

4.1. Аннотация.

Указываются инициалы и фамилия автора дипломного проекта и его тема.

В следующем абзаце приводятся ключевые слова, отражающие содержание проекта.

Затем указывают объект, на который составлен проект, цель проектируемых работ, проектируемые для решения поставленной задачи методы. Предполагаемые результаты проектируемых работ.

Указывают тему специальной части, полученные результаты и их значимость.

Завершают аннотацию сведениями о количестве страниц пояснительной записки, иллюстраций, таблиц, приложений, литературных источников.

Изложение должно быть кратким, но позволяющим понять существо дипломного проекта. Объем аннотации, как правило, не должен превышать половины страницы.

4.2. Введение

Во введении должна быть дана четкая формулировка геологического задания: местоположение участка проектируемых работ (административная, географическая и геологическая привязка), стадия геологоразведочных работ (см. приложение 6), целевое назначение и ставящиеся перед работами геологические задачи, актуальность и значение для экономики, ожидаемые результаты работ.

Приводят сведения о месте прохождения производственной практики, о задачах и видах работ, проводившихся предприятием, и о видах работ, в которых студент принимал непосредственное участие. Дают характеристику собранных в период практики материалов, послуживших исходными для составления дипломного проекта. Указывают руководителя практики от предприятия.

4.3. Общие сведения о районе работ

В этом разделе приводятся сведения о районе, характеризуются условия проведения и организации проектируемых работ. Указывают географическое положение и административная принадлежность района работ, характеризуется рельеф, гидрографическая сеть, климат, растительность и животный мир. Дают характеристика проходимости местности, имеющихся путей сообщения. Приводят сведения о промышленности и сельскохозяйственном производстве в районе, о населении и его занятости.

Приведенные в разделе сведения должны давать четкое представление о категории трудности проведения геофизических работ, продолжительности полевого периода, возможности найма рабочих на месте. Указывают положение базы экспедиции (партии) и связь с ней.

Текст необходимо иллюстрировать обзорной картой. На карте следует указать положение участка работ и, если возможно, базы экспедиции.

4.4. Геолого-геофизическая изученность района работ

В этом разделе в хронологическом порядке указывают проведенные в районе геологические и геофизические исследования. Сначала описывают геологические, затем геофизические исследо-

вания. Указывают год проведения работ, выполнявшая работы организация и непосредственные руководители работ. Если работы дали ощутимые практические или методические результаты, кратко описывают эти результаты. По участку проектируемых работ следует привести более подробные сведения. Можно привести данные об изученности района в табличной форме.

Раздел следует иллюстрировать схемами изученности района.

В заключение следует сделать вывод о степени изученности района и о направлении дальнейших исследований.

4.5. Геологическое строение района и участка работ

Этот раздел должен начинаться с характеристики **геологической позиции** района и краткого описания его **общего геологического строения.** Описывают слагающие район горные породы, их возраст, петрографическая принадлежность и распространение по площади. Описывают основные структуры и крупные тектонические нарушения. Желательно указать рудоносность структурных элементов и комплексов пород. Хорошо, если будет указано проявление петрографических комплексов и структурных элементов в геофизических полях.

В подразделе **стратиграфия** в хронологическом порядке описывают стратиграфическую колонку. Приводят сведения о литологии стратиграфических горизонтов, их мощности, распространении на территории района. Отмечают несогласия, фациальные изменения и т. п. Хорошо привести данные о физических свойствах слагающих стратиграфические горизонты пород. Указывают стратиграфическую приуроченность полезных ископаемых. Подраздел иллюстрируютя стратиграфической колонкой, которая приводится на приложении с геологической картой. В тексте полезно привести наиболее важные участки стратиграфической колонки в более крупном масштабе.

При описании **магматизма** указывают его фазы, проявившиеся в районе и характерные для них комплексы магматических пород. Приводят сведения о форме, размерах элементов залегания и взаимоотношениях интрузивных, эффузивных и жильных тел, о проявлениях приконтактового метаморфизма. Указывают их положение в разрезе и возраст. Отмечаютя связь полезных ископаемых с магматическими породами. Хорошо, если будут приведены краткие сведения о физических свойствах горных пород. Текст желательно иллюстрировать рисунками.

При описании **тектоники** сначала следует рассмотреть общую тектоническую схему района, охарактеризовать наиболее крупные пликативные и дизъюнктивные структурные элементы. Описание необходимо иллюстрировать рисунком. Далее эти и более мелкие структурные элементы надо описать подробнее, указать их возрастные соотношения, элементы залегания и т. п. Особое внимание следует обратить на установленную или предполагаемую связь полезных ископаемых с теми или иными структурами.

Подробно надо описать **метаморфизм** горных пород. Следует рассмотреть наблюдающиеся в районе типы метаморфизма, степень и характер изменения отдельных пород и комплексов. Необходимо описать пространственное распространение метаморфизованных пород, связь метаморфизма с магматической и тектонической деятельностью. Особое внимание следует обратить на связь полезных ископаемых с метаморфизмом и на околорудные изменения вмещающих пород. Указать характер изменения физических свойств пород при метаморфизме.

В подразделе, касающемся **полезных ископаемых**, приводят сведения обо всех полезных ископаемых, месторождения или проявления которых известны в районе работ. Указывают их пространственное положение, стратиграфическая, структурная и литологическая приуроченность, генетический тип. Рассматривают поисковые признаки и рудоконтролирующие факторы.

Месторождения и проявления полезного ископаемого, на поиски или разведку которого составляется проект, описывают подробно, другие полезные ископаемые – более кратко. Для полезного ископаемого – объекта поисков детально описывают контролирующие структуры, состав и метаморфизм вмещающих пород, глубина залегания, форма, размеры, элементы залегания, вещественный состав рудных тел, наличие околорудных изменений вмещающих пород, ореолов вкрапленности и т. п. Приводят сведения о мощности и характере слоя рыхлых отложений и коры выветривания, о гипергенных изменениях. Если известных месторождений на участке нет, рассматривают существующие представления об ожидаемом характере объектов поисков.

Подраздел следует иллюстрировать схемой расположения месторождений и рудопроявлений (можно их показать на геологической карте). Очень желательно привести разрезы по месторождениям и рудопроявлениям.

В **гидрогеологической характеристике** района описывает водоносность комплексов пород, приводят сведения о водоносных горизонтах, химизме подземных вод, степени их пригодности для питьевого и технического водоснабжения. Раздел резко усиливают, если проектируемые работы направлены на решение гидрологических задач.

Заключительным разделом геологической части проекта является **обоснование выбора участка** для проектируемых работ. Его делают на основе рассмотренных в предыдущих разделах геологических данных и геолого-геофизической изученности территории. Затем следует дать подробную геологическую характеристику выбранного участка, указать наличие на нем перспективных геофизических и геохимических аномалий, их установленную или предполагаемую геологическую природу. Текст необходимо иллюстрировать геологической картой достаточно крупного масштаба (обычно 1:25000 или 1:10000 или крупнее). Следует привести реальные или прогнозные разрезы месторождений или рудопроявлений.

Если проектируются работы по разведке месторождения, необходимо подробно рассмотреть все известные данные о его строении, морфологии рудных тел, их составе и степени разведанности.

4.6. Физико-геологические предпосылки для постановки геофизических работ

Физические свойства горных пород и полезных ископаемых района лучше описывать по их генетическим группам (осадочные, вулканогенно-осадочные, магматические и т. п.) Обязательно указываются источники, по которым приводятся данные по физическим свойствам, способы определения, представительность. Эти данные обычно приводят в виде таблицы. Если есть возможность, надо построить гистограммы или вариационные кривые и выполнить статистическую обработку. Наиболее наглядное представление о физических свойствах горных пород и полезных ископаемых дает диаграмма, которую надо обязательно построить. Для ее построения строится колонка, в которую включаются все горные породы района, и около нее – графики всех физических свойств.

Информацию о физических свойствах горных пород можно получить из литературных и фондовых источников. Можно оценить физические свойства пород путем статистической обработки результатов полевых наблюдений или каротажа. На основе анализа этих данных следует сделать выводы о принципиальной возможности разделения горных пород по их физическим свойствам.

Наличие различия физических свойств объекта и вмещающей среды еще не гарантирует возможности его обнаружения соответствующим геофизическим методом. Важное значение имеют и его геометрические параметры – форма, глубина от поверхности, элементы залегания, наличие мешающих геологических фак-

торов (мощный слой приповерхностных рыхлых отложений, экраны из пород высокого сопротивления и т. д.). Поэтому для получения представления о возможностях геофизических методов необходимо дать комплексную **геолого-геофизическую характеристику объектов поисков**, включая их геометрические параметры, физические свойства и возможное влияние геологических помех.

В завершение раздела должна быть построена **физико-геологическая модель объекта поисков** и для нее выполнено решение прямой задачи. Для оценки глубинности методов в условиях района прямую задачу следует решить для нескольких положений эрозионного среза. Для характеристики возможностей методов хорошо также привести результаты наблюдений над реальными объектами. Желательно также построить физико-геологические модели для объектов, которые будут затруднять интерпретацию результатов (вызывать искажения, похожие на аномалии от объектов поисков или, маскировать их).

Итогом раздела являются выводы о возможностях каждого геофизического метода в условиях района проектируемых работ.

4.7. Анализ результатов геофизических работ ранее проведенных в районе

В этом разделе детально анализируют результаты работ последнего года или нескольких последних лет. Сначала кратко описывает примененную методику работ. Дает характеристику примененного комплекса методов. Формулируют задачи, которые ставились перед каждым методом и основные сведения о методике его применения (сеть наблюдений, использовавшаяся аппаратура, тип и размеры установок, точность и т. п.).

Затем производятописание физических полей и сопоставление их с геологическим строением площади. Описывают отдельные аномалии и высказывают соображения об их геологической природе.

Затем в качестве примера подробно анализируют несколько типичных аномалий. Если на участке имеются известные месторождения или рудопроявления, на которых проведены геофизические работы, аномалии над ними должны быть обязательно проанализированы. Для выбранных аномалий надо самостоятельно выполнить качественную и количественную интерпретацию и дать объяснение их геологической природы.

В заключение раздела следует дать оценку применявшейся ранее методике геофизических исследований и высказать свои предложения по ее совершенствованию.

4.8. Методика проектируемых работ

В начале раздела надо указать стадию проектируемых работ и сформулировать конкретные задачи, которые ставятся перед геофизическими исследованиями для выполнения геологического задания. На основе геологического строения, физико-геологических предпосылок и анализа результатов ранее проведенных геофизических работ **обосновывают комплекс методов**.

Определяют основные методы, которыми будет обследоваться вся площадь, и дополнительные, которыми будут изучаться наиболее интересные, по данным основных методов, участки. Определяют, если это необходимо, вспомогательные методы, результаты которых будут использоваться при интерпретации данных других методов (например, ВЭЗ или малоглубинная сейсморазведка с целью изучения рельефа коренных пород для нужд гравиразведки). Для каждого метода должна быть четко сформулирована решаемая им задача.

Указывает последовательность выполнения работ разными методами и их взаимодействие. Определяют масштаб съемки и рассчитываютя сеть наблюдений. Если сеть наблюдений для разных методов разная, это должно быть обосновано, а сети согласо-

ваны (для методов с более редкой сетью должны использоваться профили и пикетаж более детальной сети).

Методика работ каждым методом включает обоснование сети наблюдений, точности и способа ее определения, выбор аппаратуры. Выбирают и обосновывают системы наблюдений, типы и параметры установок в электроразведке, схема создания опорной сети, где она необходима, учет вариаций поля и т. п. Кратко описывают технику проведения работ.

Описывает **порядок обработки и методику интерпретации результатов наблюдений** каждым методом и комплексную интерпретация с привлечением геологических данных. Указывают способ представления полученных результатов.

Если решение поставленных задач возможно при использовании различных вариантов методики, необходимо сопоставить стоимости работ для разных вариантов. Предпочтение следует отдать тому варианту, при котором необходимая информация может быть получена при меньших затратах.

4.9. Специальная часть

В специальной части студент разрабатывает какой-либо узкий вопрос, представляющий практический или научный интерес. Разработка этого вопроса должна содержать элементы исследования или научного обобщения. Качество специальной части в наибольшей степени определяет творческую зрелость выпускника и его способность к самостоятельной инженерной деятельности. Поэтому от качества специальной части во многом зависит общая оценка дипломного проекта.

Тематика специальной части дипломного проекта аналогична рассмотренной в разделе 2 настоящих методических указаний тематике дипломных работ, но в специальной части дипломного проекта постановка вопроса более узкая, и соответственно ее

объем меньше. Как правило, тема специальной части должна быть связана с темой дипломного проекта и полученные результаты должны использоваться при составлении проекта. Желательно, чтобы тему специальной части студент предложил сам, подготовив ее в период производственной практики и согласовав с руководителем практики от предприятия. Возможна разработка специальной части как продолжения разработки вопросов, которыми студент занимался в процессе курсового проектирования или научно-исследовательской работы в период теоретического обучения.

Структура специальной части в зависимости от темы может быть различной, но во всех случаях в ней должны быть отражены следующие моменты: постановка задачи и состояние вопроса, цель исследования, методика исследования, описание и анализ полученных результатов, выводы и рекомендации по использованию полученных результатов.

Раздел иллюстрирует графическими материалами, таблицами, схемами установок и т. п. В качестве приложений оформляются все первичные материалы – распечатки результатов расчетов на компьютере, алгоритмы и программы, журналы измерений при проведении экспериментов, вспомогательные графики и т. п.

Место специальной части в тексте пояснительной записки определяется ее содержанием.

4.10. Обеспечение безопасности жизнедеятельности

Мероприятия по охране труда и безопасности ведения работ. Рассматривает специфику природных и климатических условий района работ и предусматривают меры, обеспечивающие безопасность проведения работ на опасных участках (сложный рельеф, болота, тайга, необходимость переправ через реки и т. д.). Обустройство полевых лагерей и обеспечение находящихся в них людей материалами и снаряжением, продовольствием,

транспортом, аптечками и т. п. Необходимо предусмотреть надежную связь полевых отрядов с базой. Рассматривают действия в критических ситуациях – стихийные бедствия, аварии на расположенных поблизости промышленных предприятиях и т. д.

Общие положения безопасности ведения работ включают в себя безопасность при подготовке сети (лесорубочные работы, противопожарные мероприятия и т. п.), безопасность транспортировки людей и грузов, безопасность эксплуатации источников тока и аппаратуры. Подробно следует рассмотреть правила безопасности при проведении работ проектируемыми методами.

Необходимо предусмотреть обучение персонала безопасным приемам труда, указать периодичность проверки знаний по технике безопасности, предусмотреть контроль за соблюдением этих правил.

Мероприятия по охране окружающей среды. Анализируют факторы, сопутствующие проектируемым работам, которые отрицательно влияют на окружающую среду, и предусматриваются меры по уменьшению этого влияния.

Применение наземных транспортных средств вызывает разрушение грунтов и почв, приводит к загрязнению их и растительного покрова горюче-смазочными материалами. Это воздействие на среду должно быть минимальным. Следует максимально аккуратно проводить лесорубочные работы при разбивке сети, расчистке площадок для полевых лагерей, чтобы наносить растительности как можно меньший урон, строго соблюдая при этом правила пожарной безопасности. Самое серьезное внимание должно быть уделено охране рек и других водоемов, колодцев, грунтовых вод от загрязнения, недопущению нанесения вреда ихтиофауне.

Необходимо предусмотреть проведение природовосстановительных мероприятий после окончания работ: очистки профилей от поваленных деревьев, кустов, лесопосадочные работы,

уборки площадок полевых лагерей, восстановления почвенного слоя и т. п.

5. Производственная часть проекта

5.1. Общие положения

Производственная часть проекта должна содержать организационные условия производства геологоразведочных работ, расчет времени, затрат труда и расходования материальных ценностей (в номенклатуре) на все виды предполевых, полевых и камеральных геологоразведочных работ, объемы которых определены в методической части проекта.

Исходя из календарного плана выполнения работ, составленного по срокам выполнения геологического задания с учетом организационных условий производства, определяют необходимые трудовые и материальные ресурсы по периодам (годам, месяцам). Обосновывает объем производственного и бытового строительства, и рассчитывает количество необходимых материалов по нормам ССН-92, вып. 11, часть 2.

Составляет схему перевозки грузов и транспортировки персонала, по нормам ССН-92, вып. 10 рассчитывают необходимое количество грузов по видам транспорта и затрат времени на транспортировку персонала с учетом времени полевых сезонов.

Обосновывают затраты на прочие сопутствующие работы (производственные командировки, полевое довольствие, доплаты и др.).

5.2. Предполевые работы и проектирование

Определяет состав и затраты исполнителей, необходимые для составления проектно-сметной документации, на основе действующих в геологоразведочной организации временных норм и норм ССН 1.1 (табл. 17–23) на сбор, изучение геологических материалов по району работ, написание проекта и составления смет по форме, приведенной в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Затраты труда на проектирование

Виды работ	Ед. изм.	Объем работ	Норма на ед. чел.- дн.	Затраты труда, чел.-дн.					Итого, чел.-дн.
				гл. геолог	геолог 1 кат.	техн. геолог	….	….	
Изучение фондовых материалов … … Составление текста проекта									
ИТОГО:									∑ Т

Расчет затрат времени на предварительное дешифрирование материалов космо- и аэрофотосъемок выполняют в соответствии с ССН, вып. 1, табл. 23–25, в зависимости от масштаба работ и категории сложности геологического строения. Нормы основных расходов – СНОР, вып. 1, ч. 1, табл. 3.

5.3. Полевые геофизические работы

При проектировании полевых геофизических исследований с использованием методов гравии-, магнито-, электроразведки, радиометрии, а также аэрогеофизических методов производят расчет

затрат времени и затрат труда по форме, пример которой показан в табл. 5.2.

Для этого по соответствующим частям ССН находят нормы времени на единицу объема работ, обосновывают и описывают все условия, в соответствии с которыми выбраны нормы времени (параметры сети, категория трудности, способ передвижения, тип и число приборов, схема установки электродов, расстояние подлета к участку работ и т. д.).

При проведении работ в ненормализованных условиях в соответствии с ССН обосновывают и приводят поправочные коэффициенты к нормам времени.

При одновременном использовании нескольких коэффициентов в результате их перемножения определяется общий поправочный коэффициент.

Суммарные затраты времени определяют путем перемножения объемов работ на норму времени и на поправочные коэффициенты (табл 5.2, гр. 7 = гр. 3 · гр. 5 · гр. 6). К ним добавляют затраты времени для проверки и профилактического обслуживания аппаратуры и оборудования в полевой период. Затраты времени на профилактику зависят от методов геофизических исследований и типа приборов. Нормируют ССН и составляют от одной до трех отрядосмен на один месяц полевых работ (поправочные коэффициенты к затратам времени составляют соответственно 1,04; 1,085; 1,13).

Затраты труда в человеко-днях определяются путем перемножения норм затрат труда на общее количество отрядо-смен (табл. 5.2, гр.10 = гр. 8 × гр. 9). Нормы затрат труда берутся из соответствующих таблиц ССН.

В табл. 5.2. рассчитывют также проектное суммарное количество координатных точек. Для этого объемы работ умножают на количество координатных точек в единице объема работ (приводятся в соответствующих таблицах норм времени ССН). Общее количество координатных точек необходимо для расчета затрат времени на камеральные работы.

Если отработку площади проектируют по участкам с нескольких баз, то по нормам ССН определяются затраты времени на переезды отряда внутри района работ (перебазировка с одного участка работ на другой), исходя из схемы переездов. При этом необходимо учитывать, что нормы времени на переезды (перебазировку отряда)

не включают затраты времени по ежедневной доставке производственного персонала к месту проведения геофизических работ на профиль и обратно. Время на эти цели предусмотрено в укрупненных нормах времени на соответствующие виды геофизических исследований, а расходы учтены в нормах основных расходов (СНОР).

Далее рассматривают вопросы организации различных видов полевых работ: количество отрядов и их численность, календарные сроки выполнения полевых работ. Для этого суммарные затраты времени и труда увязывают с продолжительностью полевых работ и штатами производственных подразделений (отряд, партия), выполняющих данные виды работ, по формулам:

$$N = T_{\text{общ.}} / (t \cdot d \cdot K_{\text{в.н.}}),$$

где N – количество геофизических отрядов, необходимых для выполнения работ; $T_{\text{общ.}}$ – общие затраты времени на геофизические исследования соответствующим методом, отрядо-смен; t – количество месяцев работы по проекту; d – количество смен (дней) в месяце (25,4 – при односменном режиме работы); $K_{\text{в.н.}}$ – коэффициент выполнения норм выработки, принимаемый от 1,05 до 1,20.

$$Ч = З_т / Т_ф K_{\text{в.н.}},$$

где Ч – численность трудящихся, занятых на выполнении геофизических исследований; $З_т$ – суммарные затраты труда, человеко-дни; $Т_ф$ – фонд времени одного работающего за рассматриваемый период, дни;

$$Т_ф = (Т_к – Т_{\text{пр.}} – Т_{\text{вых.}} – Т_{\text{отп.}})\cdot 0{,}96,$$

где $Т_к$ – календарные сроки выполнения запланированного объема работ, дни; $Т_{\text{пр.}}$ – число праздничных дней за рассматриваемый период; $Т_{\text{вых.}}$ – число выходных дней; $Т_{\text{отп.}}$ – число дней отпуска (по два дня на один месяц работы); 0,96 – коэффициент, учитывающий невыходы на работу по уважительной причине.

Как правило, по приведенным формулам рассчитывают количество геофизических отрядов и численность трудящихся, исходя из заданных сроков выполнения работ. При этом следует учитывать, что под геофизическим отрядом понимают первичное производственное подразделение, организуемое для выполнения работ

одним из геофизических методов с помощью одного прибора, станции или комплекта аппаратуры. Таким образом, при расчете количества отрядов фактически определяют необходимое количество приборов или комплектов аппаратуры для выполнения запроектированного объема работ в заданные сроки. Возможны и обратные расчеты, т. е. уточнение календарных сроков работ, исходя из существующих штатов и имеющейся аппаратуры в геофизической организации.

5.4. Топографо-геодезические работы

Проектирование топографо-геодезических работ осуществляют в соответствии с ССН, вып. 9. Для выбора и использования сметных норм и норм затрат труда обосновывают: категорию трудности местности; категорию трудности рубки леса; категория твердости пород древесины; коэффициент на заболоченность и глубину снежного покрова и другие показатели, отражаемые в табл. 2.3.3.

Таблица 5.3

Расчет затрат времени на проведение топографо-геодезических работ

(ССН, вып. 9)

№ п/п	Вид работ	Категория трудности	Объем работ	Норма времени, отр.-см.	Поправочный коэф.	Итого затрат времени, отр.-см.	Нормативный документ, табл.
	ИТОГО:						

5.5. Камеральные работы при геофизических исследованиях

Затраты времени и труда на камеральные работы по геофизическим исследованиям методами сейсмо-, гравии-, магнито-, электроразведки, радиометрии, скважинной геофизики и аэрогеофизическим работам нормируются ССН, глава «Камеральные работы».

Продолжительность камерального периода в отрядо-месяцах для различных видов геофизических работ определяют в соответствии с продолжительностью полевых работ, количеством координатных или физических точек за месяц работы отряда, сложностью обработки полевого материала.

Для определения количества точек, выполняемых отрядом за месяц работ, необходимо общее количество физических или координатных точек разделить на расчетную продолжительность работ в месяцах. Продолжительность работ в месяцах рассчитывают путем деления общих затрат времени в отрядо-сменах для данного метода на 25,4 (среднее число смен в месяце).

Нормы ССН на камеральную обработку геофизических исследований не предусматривают затраты на использование ЭВМ. При использовании ЭВМ на камеральных работах в данном разделе необходимо обосновать количество машинного времени в машино-часах, требуемого для обработки полевых материалов.

5.6. Определение стоимости и составление смет на геологоразведочные работы

Смету составляют на весь объем геологоразведочных работ и затрат, предусмотренных проектом.

Сметная стоимость геологоразведочных работ складывается из основных расходов, накладных расходов, плановых накоплений, компенсируемых затрат, подрядных работ и резерва на непредвиденные расходы.

Общая сметная стоимость геологоразведочных работ сводится по следующей номенклатуре работ и затрат с подразделением каждой позиции по видам, методам, способам, масштабам и т. п. (форма СМ-1):

I. Основные расходы

а. Собственно геологоразведочные работы:

- предполевые работы и проектирование;

- полевые работы – всего:

в том числе по видам, методам, способам, масштабам и т. д.:

- организация и ликвидация полевых работ;

- лабораторные и технологические исследования;

- камеральные и опытно-методические работы;

- прочие собственно геологоразведочные работы (содержание радиостанций, затраты на метрологическое обеспечение, охрану полевого лагеря и т. д.).

б. Сопутствующие работы и затраты:

- строительство зданий и сооружений;

- транспортировка грузов и персонала партий.

II. Накладные расходы

III. Плановые накопления

IV. Компенсируемые затраты:

- производственные командировки;

- полевое довольствие;

- доплаты и компенсации;

- возмещение убытков, причиненных изъятием или временным занятием земельных участков;

- рекультивация земель и лесных угодий;

- попенная оплата;

- ликвидация последствий взрывов;

- согласование мест проведения геологоразведочных работ.

V. Подрядные работы

VI. Резерв на непредвиденные работы и затраты

Всего по объекту

Подробный порядок определения сметной стоимости по перечисленным видам работ и затрат изложен в Инструкции по составлению проектов и смет на геологоразведочные работы [13] и в Методическом руководстве [14].

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ВКР В ФОРМЕ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

6.1. Структура дипломной работы

Дипломная работа, как и дипломный проект, состоит из пояснительной записки и демонстрационных плакатов или графических приложений в электронной форме, которые на защите демонстрируются с помощью мультимедийного проектора. Всё касающееся графических и иных приложений, изложенное в разделе 3, в полной мере относится к дипломной работе. Примеры возможных тем дипломных работ были приведены в разделе 2. Конечно, эти примеры не исчерпывают всей возможной тематики, которая может быть очень разнообразной. В каждом конкретном случае тема дипломной работы определяется ее руководителем и студентом. Тема дипломной работы утверждается на заседании кафедры.

Структура текстовой части дипломной работы (в скобках указан ориентировочный объем разделов в страницах):

Титульный лист (1)

Дипломное задание (1)

Аннотация (1)

Оглавление (1)

Введение (1-3)

Основная часть (40-60)

Заключение (1-2)

Список литературы

Список графических и иных приложений, не включенных в пояснительную записку.

Структура основной части пояснительной записки разрабатывается студентом вместе с руководителем в зависимости от содержания работы.

6.2. Содержание дипломной работы

Аннотация. Указывают инициалы и фамилию автора работы и ее название.

В следующем абзаце приводят ключевые слова, отражающие содержание работы.

Затем приводят краткие сведения об объекте исследования, цели работы, методы решения поставленных задач, основне полученне результаты и их практическое и научное значение. Аннотация должна быть составлена так, чтобы по ней можно было понять существо работы.

Завершают аннотацию сведениями о количестве страниц пояснительной записки, иллюстраций, таблиц, приложений, литературных источников.

Объем аннотации, как правило, не должен превышать половины страницы.

Введение должно отражать актуальность и современное состояние проблемы. Наибольшее внимание следует уделить формулировке цели исследований. Далее надо сформулировать за-

дачи, которые необходимо решить; что необходимо сделать для их решения. Следует указать исходные материалы для дипломной работы, новизну и значимость работы, отметить личный вклад автора.

Основная часть пояснительной записки в зависимости от содержания работы может иметь различную структуру, разрабатываемую студентом при консультации руководителя. Можно лишь указать характер информации, которая должна содержаться в дипломной работе.

1. Состояние проблемы, которое необходимо рассмотреть на основе обзора литературных и иных источников. Выяснение вопросов, требующих разработки, соображения о возможных способах решения поставленных задач.

2. Обоснование направления исследований и методика их проведения. Описание и анализ полученных результатов. Сопоставление своих результатов с ранее известными.

3. Возможные области применения полученных результатов. Задачи дальнейших исследований по проблеме.

В заключении указывают степень решения поставленных задач, основные выводы, область применения полученных результатов, пути дальнейших исследований по проблеме.

7. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ВКР

Пояснительная записка должна оформляться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к техническим рукописям. Текст располагает на одной стороне листа белой бумаги формата А4. При наборе на компьютере рекомендуется шрифт 14 с расстоянием между строками 1,5 интервала. Поля сверху, снизу и справа не менее 20 мм, слева – не менее 30 мм. Отступ абзаца 10-15 мм.

Страницы нумеруют подряд, включая рисунки и таблицы. Отсчет страниц начинают с титульного листа, но номер в первый раз проставляет на первой странице введения. Снизу на первой странице введения располагают штамп (приложение 3).

Формулы набирают с помощью соответствующего редактора и располагают в отдельной строке посредине страницы. Нумерация формул сквозная, арабскими цифрами. Номера формул в круглых скобках располагают у правой границы текста. Необходимые пояснения помещают после формул. Первая строка расшифровки начинается со слова «где» (без двоеточия).

Слова в тексте пишут полностью, допускаются только общепринятые в технической литературе сокращения. Следует использовать термины и обозначения различных величин принятые в технической литературе. При первом использовании какого-либо обозначения следует пояснить его значение. Греческие буквы набирают прямым шрифтом, латинские – курсивом, за исключением математических (sin, ln и т .п.) и химических символов, которые набирают прямым шрифтом.

Заголовки разделов пишут заглавными буквами жирным шрифтом и располагают посредине листа. От последующего текста их отделяют двойным интервалом. Заголовки подразделов пишут строчными буквами, за исключением первой заглавной, шрифт лучше использовать жирный. Их начинают с абзаца и отделяют от предыдущего текста двойными интервалами. Разделы нумеруют арабскими цифрами (слово «глава» обычно не пишется). Подразделы нумеруют двумя цифрами через точку, указывающими номер раздела и номер подраздела в нем.

Рисунки в тексте могут быть выполнены компьютерным способом или от руки черной тушью (чернилами). Их помещают после первого упоминания на той же или на следующей странице. Подрисуночную подпись помещают ниже рисунка. Она включает номер рисунка (например, «рис. 4») и его название. Далее с новой строки помещают необходимые пояснения. Если текст набран шрифтом 14, название рисунка набирают шрифтом 12, а поясне-

ния – шрифтом 10. Рисунок и подрисуночную подпись сверху и снизу отделяют от текста интервалами. Ссылки на рисунки делают в круглых скобках, при повторных ссылках добавляет сокращенное слово «смотри» (например, «см. рис. 4»).

Содержание таблиц набирает более мелким шрифтом. В головке таблицы допускаются только горизонтальные и вертикальные линии. Диагональные линии не допускаются. Над таблицей помещают ее название, а над названием справа – слово "Таблица" и ее номер (знак «№» не пишут). Если таблица не помещается на странице, на следующей странице следует полностью повторить головку, а сверху справа написать «Продолжение (или «Окончание») таблицы» и ее номер. Ссылки на таблицы делают так же, как на рисунки.

В конце текстовой части приводят список литературы, использовавшейся в процессе подготовки ВКР. Список составляют в алфавитном порядке. Сначала указывают печатные источники, затем фондовые. Описание литературных источников делают в соответствии с установленными правилами. Примеры библиографического описания литературных источников приведены в приложении 4. Ссылки на литературу в тексте делают путем указания номера источника по списку в квадратных скобках. При использовании заимствованных рисунков, таблиц ссылка на источник или автора обязательна. Это в полной мере относится и к демонстрационным чертежам.

Графические приложения выполняют на стандартных листах формата А1. При необходимости можно использовать листы других стандартных форматов. Чертежи вычерчивают черной тушью (чернилами) или выполняют на компьютере. На чертежах должны использоваться общепринятые обозначения и цвета красок.

Подписи на чертежах следует делать стандартными шрифтами. Размер букв должен быть достаточно большим, чтобы надписи легко читались с некоторого расстояния. Можно выполнять надписи с помощью компьютера, а затем подклеивать. Каждый лист должен иметь общий заголовок. Если на листе помеще-

ны несколько чертежей, например, карты различных физических полей, каждый чертеж должен иметь название, написанное более мелким шрифтом, чем общее название листа. Название листа дублирует в штампе, помещенном в нижнем правом углу листа. Форма штампа приведена в приложении 5.

8. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ ВКР

К защите ВКР допускаются студенты, выполнившие учебный план и подготовившие в установленный срок свои выпускные квалификационные работы. Расписание заседаний ГАК утверждается проректором по учебной работе и доводится до общего сведения не позднее, чем за месяц до начала защит ВКР.

Завершенная выпускная работа подписывается студентом на титульном листе, в штампе на первой странице введения и в штампах графических приложений. Консультанты по геологической и экономической части подтверждают свое согласие с этими разделами подписями на оборотной стороне дипломного задания. Консультант по геологической части ставит свою подпись также в штампе на первой странице введения и в штампах графических приложений с геологическим содержанием.

Руководитель ВКР после проверки работы также ставит свою подпись на пояснительной записке и чертежах и составляет отзыв. Вместе с отзывом руководителя ВКР представляется заведующему кафедрой для утверждения и направления на рецензию специалисту из сторонней организации из числа утвержденных приказом по институту.

До начала защиты студент представляет в ГАК свою ВКР с отзывом руководителя и рецензией. Личная карточка студента с перечнем изученных дисциплин и оценок по ним и зачетная книжка представляются в ГАК деканатом.

Для доклада студенту предоставляется 15 минут. Доклад необходимо подготовить заранее, распределить время между его частями и отрепетировать. Во время выступления можно иметь текст доклада, но не следует его читать. Лучше вместо текста доклада пользоваться его планом с краткими тезисами основных положений. Излагаемый материал надо иллюстрировать демонстрационными чертежами.

После доклада члены ГАК задают вопросы, связанные с темой защищаемой ВКР. Вопросы могут задавать также все присутствующие. После ответов на вопросы зачитывают отзыв руководителя и рецензию. Затем студенту предоставляется возможность ответить на замечания по работе.

После окончания всех защит, назначенных на данный день, проводится закрытое заседание ГАК, на котором принимается решение по каждой защищавшейся работе. При обсуждении желательно присутствие руководителей и, если это возможно, рецензентов. При определении оценки работы учитываются качество доклада, ответы на вопросы и отзывы руководителя и рецензента.

Результаты защиты ВКР объявляются в тот же день, сразу после закрытого заседания ГАК.

Положительное решение ГАК является основанием для присуждения выпускнику квалификации горного инженера и выдачи диплома о высшем образовании.

ОСНОВНАЯ РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

По геолого-геофизической части

1. *Гравиразведка:* справочник геофизика/ под ред. Е. А. Мудрецовой и К. Е. Веселова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 607 с.

2. *Инструкции по гравиметрической разведке*. М.: Недра, 1975. 88 с.

3. *Инструкции по магниторазведке:* наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка / под ред. Ю. С. Глебовского и В. Е. Никитского. Л.: Недра, 1981.

4. *Инструкции по сейсморазведке*. М.: Недра, 1985.

5. *Инструкции по электроразведке:* наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, морская электроразведка / М-во геологии СССР. Л.: Недра, 1984. 352 с.

6. *Комплексирование методов разведочной геофизики*: Справочник геофизика / под ред. В. В. Бродового и А. А. Никитина. М.: Недра, 1984. 379 с.

7. *Магниторазведка:* справочник геофизика / под. ред. В. Е. Никитского и Ю. С. Глебовского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 470 с.

8. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых*: справочник геофизика / под ред. Н. Б. Дортман. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 456 с.

9. *Электроразведка:* Справочник геофизика. В двух книгах / под. ред. В. К. Хмелевского и В. М. Бондаренко 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1989. 438 и 278 с.

По охране труда и окружающей среды

10. *Болтыров В. Б., Золоев К. К*. Экология геологоразведочных работ: методические рекомендации. Свердловск: ПО «Уралгеология». 1991. 82 с.

11. *Правила безопасности при геологоразведочных работах.* М.: Недра, 1979. 249 с.

12. *Ширшков А. И.* Охрана труда в геологии. М.: Недра, 1990. 235 с.

По производственной части

13. *Инструкция по составлению проектов и смет.* Приложение к приказу Роскомнедра от 22.11.93, № 108. – М., 1993.

14. *Проектирование геологоразведочных работ*: методические указания по выполнению курсовой работы дисциплины «Экономика и организация геологоразведочных работ» и экономической части ВКР специалиста для студентов геологических и геофизических специальностей / Г. С. Карпов, С. В. Макарова, Г. А. Самсонов, В. Г. Жуков. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 64 с.

15. *Сборники норм основных расходов (СНОР)*, выпуски 1-11. – М., 1995.

16. *Сборник сметных норм (ССН),* выпуски 1-11. – М.: ВИЭМС, 1992.

Учебное издание

А. А. Редозубов, В. Г. Жуков

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ВКР) ИНЖЕНЕРА

Учебное пособие

Подписано в печать _____ 2016 г. Бумага писчая. Формат 60х84 1/16.
Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____. Тираж 200 . Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 21.05.03 «ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ» ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Екатеринбург

Введение

Естественные науки – совокупность наук о природе. Природа – в широком смысле – все сущее, весь мир в многообразии его форм; объект естествознания. К естественным наукам относятся и география, и геология. **География –** система естественных – физико-географических и общественных – экономико-географических наук, изучающих географическую оболочку Земли, природные и производственно-территориальные комплексы и их компоненты. **Геология –** комплекс наук о составе, строении и истории развития земной коры и Земли (Советский энциклопедический словарь. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1979).

В школьных программах нет дисциплины «Геологии». Элементарные сведения о Земле как планете и ее внутреннем строении школьники получают на уроках «Географии» в 6 и 7 классах. Для изучения геологических вопросов рекомендуем самостоятельно читать учебники по геологии. В настоящее время выпущено огромное число самых различных учебников, учебных пособий, методических указаний по всем направлениям геологических наук. Любой желающий по своему усмотрению без особого труда может для себя их приобрести. Но следует помнить афоризм Козьмы Пруткова: «Никто не обнимет необъятного!» Нельзя школьникам сразу преподносить геологические знания в объеме читаемой в высшей школе, но знать основы геологии необходимо каждому грамотному человеку для того, чтобы понимать историю развития природы. Без этих знаний невозможно понять процесс формирования как прошлых, так и современных ландшафтов – важнейших составных частей географической оболочки Земли.

Для квалифицированного подхода к встрече с природными объектами рекомендуем иметь элементарные познания по геологии. Аннотации первоочередных лекций приведены в настоящих методических указаниях.

Геология – это наука о Земле, о ее свойствах и изменениях, происходящих на ней в настоящее время, а также совершавшихся во времена прошедшие. Геология – это история Земли, и эту историю она сама записывает. Она сама ведет свою автобиографию; ведет ее без перерыва почти от начала своего образования и до настоящего времени, записывая ее на своих каменных страницах, и человеку остается лишь научиться читать эту занимательную каменную летопись, научиться понимать эти каменные письмена, в которых буквами являются попадающиеся нам под ноги камешки, а чернилами – воды ручьев, рек и морей. Вначале мы должны научиться различать буквы – камни, потом должны постигнуть самый процесс чтения записей Земли, для этого должны изучать геологические процессы, и лишь после того, как мы хорошо освоимся с ними, мы можем приступить к чтению древних страниц этой летописи. В этой великой многотомной летописи Вселенной всякая летопись человека, будь то самый древний папирус, является лишь одной незначительной строчкой, помещенной в конце ее последней страницы. Читая эту великую автобиографию, мы уносимся в бесконечно отдаленные от нас, неизмеримые даже тысячелетиями, времена. Эти далекие времена отдалены от нас во времени так, как отдалены от нас в пространстве далекие, загадочно мерцающие звезды.

Но где и как можно научиться читать эту великую летопись Земли? Где и как надо изучать геологию? Везде и всюду – в каждом овраге, в каждой речке, в любом карьере можно наблюдать результаты геологических процессов. Для изучения геологических процессов необходимо принимать участие в геологических экскурсиях, проходящих по геологическим объектам, доступными непосредственно нашему наблюдению.

1. ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ГЕОЛОГИИ

1.1. НАУКА О ЗЕМЛЕ. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Два греческих слова "гео" — Земля и "логос – учение позволяют трактовать термин "геология" как науку о Земле. Однако в наше время ограничиться таким простым толкованием уже нельзя, поскольку этот термин объединяет в себе целый комплекс самостоятельных направлений, как фундаментальных, так и прикладных.

Под ***фундаментальными*** обычно понимают те направления, которые разрабатывают понятия, открывают явления, закономерности, свойства, определяющие развитие геологии как науки. Фундаментальность не следует отождествлять с теоретическими разработками. К фундаментальным геологическим наукам могут быть отнесены следующие дисциплины: геохимия, минералогия, петрография, геотектоника, общая геология и историческая геология. Названные дисциплины занимаются различными уровнями организации вещества Земли в пространстве и во времени. Именно это обстоятельство в основном и определяет фундаментальность каждого из названных направлений. Все они теснейшим образом связаны между собой.

К ***прикладным направлениям*** принято относить те, которые непосредственно работают на производство: создают приёмы, методы, технологию геологических исследований, связанных в первую очередь, с поисками и разведкой полезных ископаемых, а также охраной и рациональной эксплуатацией земных недр. Их в современной геологии значительно больше, чем фундаментальных. Назовём лишь несколько: региональная геология, структурная геология, геологическое картирование, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, инженерная геология.

1.2. ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ГЕОЛОГИИ

Объектом общей геологии является Земля в целом: её возникновение как планеты, формирование внутренних и внешних оболочек, их функционирование и взаимодействие. Иными словами, речь идёт об изучении Земли как геологической системы.

Предметом непосредственного изучения геологии служат минералы, горные породы, ископаемые органические остатки и современные геологические процессы.

В основе научного познания геологической истории Земли, реконструкции процессов и обстановок прошлого лежит ***метод актуализма.*** При использовании этого метода к пониманию прошлого идут от изучения современных процессов, но с осознанием того, что в прошлом, особенно отдалённом от современности, и физико-географическая обстановка, и сами процессы отличались от современных тем больше, чем больше отдалена от нас прошлая геологическая эпоха.

1.3. ЗНАЧЕНИЕ ГЕОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

Огромное значение, которое имеет геология, может быть рассмотрено в двух аспектах - общенаучном и народнохозяйственном.

Общенаучное значение геологии заключается в её неоценимой роли в формировании материалистического понимания природы. Данные геологии играют важную роль в диалектико-материалистическом обосновании философских принципов, отражающих материальное единство мира и его развитие,

Практическое значение геологии заключается в обеспечении минерально-сырьевыми ресурсами различных отраслей хозяйства, в инженерно-геологическом

обосновании строительства разнообразных гражданских и промышленных объектов, в решении питьевого и технического водоснабжения.

1.4. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИИ

Геология зародилась в глубокой древности. Задолго до новой эры человек научился выплавлять металлы, использовать минеральную воду. Издавна привлекали внимание человека и природные процессы. Однако временем возникновения геологии как науки принято считать вторую половину ХУШ в. – период зарождения и бурного развития горнодобывающей промышленности. В России основоположником обобщений геологических знаний стал М.В. Ломоносов (1711-1765), в Западной Европе - Д.Геттон (1726-1797) и А.Г.Вернер (1750-1817).

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

2.1. ЗЕМЛЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

"Вселенная, весь мир, бесконечный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по тем формам, которые принимает материя в процессе своего развития. Вселенная существует объективно, независимо от сознания человека, её познающего. Вселенная содержит гигантское множество небесных тел, многие из которых по размерам превосходят Землю иногда во много миллионов раз (БСЭ, т.5, с. 1315). Доступная для изучения часть Вселенной называется ***Метагалактикой,*** включающей свыше миллиарда звёздных скоплений, или ***галактик*** (греч. "галактика" - молочный, млечный).

Наша ***Галактика Млечного Пути*** - типичная звездная система с массой около 10^{10} масс Солнца относится к типу спиральных и включает свыше 150 миллиардов звёзд. С Земли, расположенной внутри Галактики, Млечный Путь представляется в виде широкой белёсой полосы звезд, пересекающей небо. Период обращения Солнца и звёзд вокруг центра Млечного Пути 200 млн. лет. Возраст Галактики около 12 млрд. лет. Когда речь идёт о Солнечной системе, то имеется в виду Солнце и всё, что находится в поле его тяготения. К наиболее крупным телам этой системы относятся 9 планет, 34 их спутника, многочисленные кометы и астероиды. Согласно современным космогеническим представлениям Земля и другие планеты Солнечной системы образовались 4,6 млрд. лет назад почти одновременно с Солнцем.

Земля обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите на среднем расстоянии 149,6 млн. км (144,117 млн. км в перигелии, 152,083 в афелии), период обращения 365,242 средних солнечных суток (год), скорость в среднем 29,765км\с (30,27км\с в перигелии, 29,27км\с в афелии). Период обращения Земли вокруг оси 23 час 56 мин 4,1 с (сутки).

Пожалуй, все согласны с тем, что исходным веществом для формирования Солнечной системы послужили межзвёздная пыль и газы, широко распространенные во Вселенной. Но каким образом в их составе оказался полный набор химических элементов таблицы Менделеева и что послужило толчком для начала конденсации газа и пыли в протосолнечную туманность остается дискуссионной проблемой. Следующая стадия образования Солнечной системы предусматривает распад протопланетного диска на отдельные планеты внутренней и внешней групп с поясом астероидов между ними. Промежуточной фазой было образование сонма твердых и довольно крупных, до сотен километров в диаметре, тел, именуемых планетезималями, последующее скопление и соударение которых и явилось процессом аккреции (наращивания) планеты. Этот процесс занял не более сотни миллионов лет, т.е. был с геологической точки зрения очень быстрым.

Важнейшее отличие Земли от других планет Солнечной системы - существование на ней жизни, появившейся 3-3,5 млрд. лет назад и достигшей с появлением человека (12 млн. лет назад) своей высшей формы.

2.2. ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ

Поверхность реальной Земли чрезвычайно сложна и во всех деталях навряд ли может быть описана с помощью математических формул. Однако эта сложность существенно уменьшается при переходе от крупномасштабного к мелкомасштабному изображению, когда особенности рельефа Земли рассматриваются для достаточно обширных территорий.

Под фигурой, или формой Земли, понимают форму ее твердого тела, образованную поверхностью материков и дном морей и океанов. Форма планеты определяется ее вращением, соотношением сил притяжения и центробежной, плотностью вещества и его распределением в теле Земли. Геодезические измерения показали, что упрощенная форма Земли приближается к ***эллипсоиду вращения (сфероиду).*** В СССР в качестве эталона в 1946 году был принят эллипсоид Ф.Н.Красовского и его учеников (А.А.Изотов, и др.), основные параметры которого подтверждаются современными исследованиями и с орбитальных станций. По этим данным экваториальный радиус равен 6378,245 км, полярный радиус 6356,863 км, полярное сжатие 1/298,25.

Поверхность реальной Земли чрезвычайно сложна и во всех деталях навряд ли может быть описана с помощью математических формул. Однако эта сложность существенно уменьшается при переходе от крупномасштабного к мелкомасштабному изображению, когда особенности рельефа Земли рассматриваются для достаточно обширных территорий.

В связи с расчлененностью рельефа (наличием высоких гор и глубоких впадин) действительная форма Земли является более сложной, чем трехосный эллипсоид. Наиболее высокая точка на Земле - гора Джомолунгма в Гималаях - достигает высоты 8848 м. Наибольшая глубина - 11 034 м - обнаружена в Марианской впадине. Таким образом, наибольшая амплитуда рельефа земной поверхности составляет немногим менее 20 км. Учитывая эти особенности, немецкий физик Листинг в 1873 г. фигуру Земли назвал геоидом, что дословно обозначает «землеподобный». **Геоид** — некоторая воображаемая уровневая поверхность, которая определяется тем, что направление силы тяжести к ней будет всегда перпендикулярно. Эта поверхность совпадает с уровнем воды в Мировом океане, который мысленно проводится под континентами. Это та поверхность, от которой проводится отсчет высот рельефа. Поверхность геоида приближается к поверхности трехосного эллипсоида, отклоняясь от него местами на величину 100-150 м (повышаясь на материках и понижаясь на океанах, что, по-видимому, связано с плотностными неоднородностями масс в Земле и появляющимися из-за этого аномалиями силы тяжести.

2.4. СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Изучение внутреннего строения Земли производится различными методами. Геологические методы, основанные на изучении естественных обнажений горных пород, разрезов шахт и рудников, керна глубоких буровых скважин, дают возможность судить о строении приповерхностной части земной коры. Глубинное внутреннее строение Земли изучается главным образом геофизическими методами: сейсмическими, гравиметрическими, магнитометрическими и др. Одним из важнейших методов является сейсмический, основанный на изучении скорости распространения упругих волн, вызванных естественными и "искусственными" землетрясениями.

На основании скорости распространения сейсмических волн австралийский сейсмолог К. Буллен разделил Землю на ряд зон, дал им буквенные обозначения в

определённых усреднённых интервалах глубин, которые используются с некоторыми уточнениями до настоящего времени.

Выделяются три главные области Земли:

Земная кора (слой А) - верхняя оболочка Земли, мощность которой изменяется от 6-7 км под глубокими частями океанов до 35- 40 км под равнинными платформенными территориями континентов, до 50 - 75км под горными сооружениями (наибольшие под Гималаями и Андами).

Мантия Земли распространяется до глубин 2900км. В её пределах по сейсмическим данным выделяются: верхняя мантия - слой В глубиной до 400км и С - до 800 - 1000км (некоторые исследователи слой С называют средней мантией); нижняя мантия - слой D до глубины 2900 с переходным слоем от 2700 до 2900км.

Ядро Земли подразделяется на внешнее ядро - слой Е в пределах глубин 2900 - 4980км; переходную оболочку - слой Г - от 4980 - 5120км; и внутреннее ядро - слой G до 6971 км.

Земная кора - это верхняя каменная оболочка Земли, сложенная магматическими, метаморфическими и осадочными породами. Она представляет собой наиболее активный слой твердой Земли - сферу деятельности магматических и тектонических процессов. Нижняя граница земной коры как бы зеркально повторяет поверхность Земли. Под материками она глубоко опускается в мантию, под океанами приближается к поверхности Земли,

Мантия Земли является самым крупным элементом Земли - она занимает 83% ее объема и составляет около 66% ее массы.

Верхняя мантия характеризуется резким нарастанием скорости распространения сейсмических волн с глубиной. Выделяется два слоя: В (35-420 км), С (420-1000 км). Внутри слоя В, с глубин 80-100 км под материками и 50-70 км под океанами и до глубин 250-300 км, выделяется слой пониженной вязкости, который носит название *астеносферы.* Астеносфера выделяется по геофизическим данным как слой пониженной скорости, поперечных сейсмических волн и повышенной электропроводности. Повышенная вязкость астеносферы обусловлена, по-видимому, высокой температурой, приводящей, как полагают, к частичному выплавлению базальтовой магмы. Астеносфера играет важную роль в эндогенных процессах, протекающих в земной коре.

Земная кора вместе с твёрдой частью слоя Гутенберга образует единый жесткий слой, лежащий на астеносфере, который называется *литосферой.* По существу литосфера является своеобразной геосферой, отделённой от остальной части мантии активным поясом астеносферы.

Земная кора и верхняя мантия включая астеносферу, представляют собой *тектоносферу* - область Земли, где происходят тектонические явления.

3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

3.1.ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Под воздействием внутренних, или ***эндогеннных,*** и внешних, или ***экзогенных,*** сил земная кора испытывает постоянные изменения, которые называются ***геологическими процессами***. Соответственно различают эндогенные и экзогенные процессы.

Эндогенные процессы определяются глубинными источниками энергии. В результате на поверхности Земли образуются горные хребты и впадины, в земной коре возникают магматические очаги, происходят вулканические извержения, землетрясения. Эндогенные процессы характеризуются сложностью и большим разнообразием.

Экзогенные **процессы** развиваются на поверхности Земли за счёт энергии Солнца, и их интенсивность связана с активностью атмосферных явлений, геологической деятельностью поверхностных и подземных вод, озер, ледников, морей и океанов.

Сформировавшийся под воздействием эндогенных процессов рельеф молодых горных областей подвергается воздействию экзогенных сил, направленных на сглаживание, выравнивание рельефа. Таким образом, эндогенные и экзогенные процессы развиваются одновременно, связанно и взаимно обусловленно.

К эндогенным процессам относятся тектонические движения, магматизм и метаморфизм.

3.2. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ

Совокупность тектонических движений и деформаций, под воздействием которых формируются геологические структуры, называется тектоническими процессами, или *тектогенезом.* Тектонические движения – механические перемещения масс горных пород различного масштаба, сопровождающиеся изменениями их залегания и строения, а также связанными с этими изменениями деформациями (дислокациями). Тектоническим движениям принадлежит ведущая роль в развитии всех геологических процессов, так как они обусловливают перераспределение и трансформацию внутренней энергии Земли, влияют на изменение давления, интенсификацию теплопотока и т.д.

Упрощенно в зависимости от интенсивности, преимущественной направленности и геологических результатов тектонические движения можно разделить на две основные группы - *колебательные и дислокационные.*

3.3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГМАТИЗМА

Магматизмом называют явления, связанные с образованием, изменением состава и движением магмы из недр Земли к ее поверхности. Магма представляет собой природный высокотемпературный расплав, образующийся в виде отдельных очагов в литосфере и верхней мантии, главным образом в астеносфере. Подъем магмы и прорыв ее в вышележащие горизонты происходят вследствие инверсии плотностей, при которой внутри литосферы появляются очаги менее плотного, но мобильного расплава. Магматизм - это глубинный процесс, обусловленный тепловым и гравитационными полями Земли.

В зависимости от характера движения магмы различают магматизм интрузивный и эффузивный. При ***интрузивном магматизме*** (плутонизме) магма не достигает земной поверхности, а активно внедряется во вмещающие вышележащие породы, частично расплавляя их, и застывает в трещинах и полостях коры. При ***эффузивном магматизме*** (вулканизме) магма через подводящий канал достигает поверхности Земли, где образует вулканы различных типов, и застывает на поверхности. В обоих случаях при застывании расплава образуются магматические горные породы. Температуры магматических расплавов, находящихся внутри земной коры, судя по экспериментальным данным и результатам изучения минерального состава магматических пород, находятся в пределах 700-1100°С.

Измеренные температуры магм, излившихся на поверхность, в большинстве случаев колеблются в интервале 900-1100°С, изредка достигая 1350°С. Более высокая температура наземных расплавов обусловлена тем, что в них протекают процессы окисления под воздействием атмосферного кислорода. На больших глубинах в магме в растворенном состоянии присутствуют летучие компоненты - пары воды и газов (H_2O, H_2, CO_2, HCl и др.). В условиях высоких давлений их содержание может достигать 12%. Они являются химически очень активными подвижными веществами и удерживаются в магме только благодаря высокому внешнему давлению.

3.4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАМОРФИЗМА

Метаморфизм - преобразование горных пород под действием эндогенных процессов, вызывающих изменение физико-химических условий в земной коре. Преобразованию могут подвергаться любые горные породы: осадочные, магматические и ранее образовавшиеся метаморфические. Изменение минерального состава при метаморфизме может протекать ***изохимически,*** т. е. без изменения химического состава метаморфизуемой породы, и ***метасоматически,*** т. е. со значительным изменением химического состава метаморфизуемой породы за счет привноса и выноса вещества. Изменение структуры и текстуры пород обычно происходит в процессе перекристаллизации вещества. Особенность метаморфических процессов заключается в том, что они протекают с сохранением твердого состояния системы.

Метаморфизм представляет собой сложное физико-химическое явление, обусловленное комплексным воздействием температуры, давления и химически активных веществ.

3.5. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Экзогенные геологические процессы в отличие от эндогенных протекают в самых верхних слоях земной коры на её границе с внешними геосферами Земли. Их энергетической основой является энергия солнечной радиации и сил гравитации. Экзогенные процессы протекают при нормальных значениях температуры и давления с поглощением тепла и направлены на дифференциацию вещества земной коры. Выделяют четыре группы (стадии) экзогенных геологических процессов: выветривание, денудацию, аккумуляцию, диагенез.

Выветривание (нем. "веттер" - погода) представляет собой процесс глубокого изменения магматических, метаморфических и осадочных горных пород и минералов, оказавшихся неустойчивыми в условиях земной поверхности. Изменение физического и химического состояния первичных минералов и горных пород происходит в месте их залегания в результате физического, химического и биологического воздействия воды, углекислого газа, различных минеральных и органических кислот, живых организмов, а также непосредственного воздействия солнечной радиации.

Денудация (лат. "денудацио" - обнажение) - это совокупность процессов удаления (сноса и переноса) продуктов выветривания с места их образования и непосредственного разрушения горных пород агентами денудации (силы гравитации, воды континентов, морей и океанов, ветер, ледники). Перемещая материал с возвышенностей в пониженные участки рельефа, денудационные процессы приводят к разрушению земной поверхности и образованию выровненных форм рельефа.

Аккумуляция (осадконакопление) - геологические процессы, в результате которых рыхлые продукты разрушения первичных горных пород накапливаются в понижениях рельефа: в речных долинах, озёрах, болотах, морях и океанах.

Диагенез (перерождение) представляет собой сложный процесс преобразования продуктов экзогенной деятельности (осадков) в осадочные горные породы под влиянием гравитационных сил и изменения физико-химических условий в приповерхностной части земной коры.

Все экзогенные геологические процессы тесно взаимосвязаны. Благодаря выветриванию происходит подготовка материала для денудации, а сами продукты выветривания, оставшиеся на месте, являются материалом для образования новых горных пород.

Основными результатами экзогенных геологических процессов являются изменения вещественного состава верхней части земной коры, дифференциация вещества по физическим и химическим свойствам, создание толщ осадочных горных пород и форм

рельефа земной поверхности. Благодаря экзогенным процессам формируются почвы и полезные ископаемые. Около 60% мировой добычи полезных ископаемых связано с продуктами экзогенной деятельности.

Вместе с тем разрушения берегов рек, озёр и морей, обвалы, оползни, снежные лавины, размыв и разрушение склонов, рост оврагов и заболачивание территорий - это также результаты деятельности экзогенных геологических процессов

4. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земную кору — верхнюю твердую оболочку Земли - слагают горные породы (магматические, осадочные и метаморфические), состоящие из определенного сочетания минералов, в состав которых входят различные химические элементы. Изучая такую иерархию: химические элементы – минералы – горные породы, можно судить о строении земной коры в различных структурных зонах.

4.1. МИНЕРАЛЫ

Подавляющие большинство химических элементов образуют в земной коре простые или сложные соединения (исключения составляют инертные газы и некоторые самородные элементы). Химические соединения, образовавшиеся в земной коре в результате природных процессов и обладающие определенными химическим составом и физическими свойствами, называются ***минералами.*** Установлено, что в земной коре содержится около 4000 минералов.

Любой минерал обладает вполне определённым химическим составом и вполне определённой кристаллической структурой, т.е. закономерным расположением в пространстве элементарных частиц (молекул, атомов, ионов). В зависимости от особенностей химического состава и кристаллической структуры минералы образуют многогранники различной формы, называемые кристаллами. Эти же характеристики минералов (химический состав и кристаллическая структура) обуславливают все физические свойства, такие, как цвет, блеск, твёрдость и т.д.

4.2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Горными породами называются устойчивые парагенетические ассоциации минералов, возникающие в результате определённых геологических процессов и образующие геологически самостоятельные тела в земной коре. Науки, изучающие горные породы, - петрография, литология, астрофизика и физика горных пород.

Традиционно под горными породами подразумеваются только твёрдые тела, в широком применении к горным породам относят также воду, нефть и природные газы.

Горные породы могут слагаться как одним минералом, так и их комплексом. Минералы, входящие в состав горной породы и определяющие её состав и свойства, называются ***породообразующими***

Если горные породы состоят из одного минерала (кварцит, известняк, каменная соль), они называются ***мономинеральными,*** если же из нескольких -***полиминеральными*** (гравий, глина).

Все горные породы обладают комплексом морфологических особенностей, которые объединяют в понятия структура и текстура. Наряду с химическим и минеральным составом структура и текстура являются важнейшими диагностическими признаками горных пород.

По происхождению горные породы делятся на три класса: осадочные, магматические и метаморфические.

Осадочные горные породы образуются только на поверхности земной коры при разрушении_любых, ранее существовавших горных пород, в результате жизнедеятельности и отмирания организмов и выпадения осадков из пересыщенных растворов.

Магматические горные породы возникают путём кристаллизации природных силикатных расплавов внутри земной коры или на её поверхности.

Метаморфические горные породы возникают путем коренного преобразования магматических, осадочных и ранее существовавших метаморфических пород под влиянием высоких температур, давления и химически активных растворов.

5. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Строение земной коры рассматривается отдельно по той причине, что эта геосфера является основным объектом геологии и средой горного производства.

Земная кора - это верхняя каменная оболочка Земли, сложенная магматическими, метаморфическими и осадочными породами и имеющая мощностьот 7 до 75 км. Она представляет собой наиболее активный слой твёрдой Земли - сферу деятельности магматических и тектонических процессов. Нижняя граница земной коры как бы зеркально повторяет поверхность Земли. Под материками она глубоко опускается в мантию, под океанами приближается к поверхности Земли.

Выделяют два главных типа земной коры: континентальную и океаническую.

Мощность ***континентальной*** коры в зависимости от тектонических условий меняется в среднем от 25-45 . (на платформах) до 45-75 км (в областях горообразования), однако в пределах каждой геоструктурной области она не остаётся строго постоянной. В континентальной коре различают осадочный, гранитный и базальтовый слои.

Мощность осадочного слоя достигает 20 км , но распространён он не повсеместно. Названия гранитного и базальтового слоев условны и исторически связаны с выделением разделяющей их границы Конрада, хотя последующие исследования показали некоторую сомнительность этой границы.

Основное отличие ***океанической*** коры от континентальной - отсутствие гранитного слоя, существенно меньшая мощность (2-10 км), более молодой возраст (юра, мел, кайнозой), большая латеральная однородность. Океаническая кора состоит из трёх слоев. Первый слой, или осадочный, характеризуется широким диапазоном скоростей и мощностью до 2 км. Второй слой, или акустический фундамент, имеет среднюю мощность 1,2-1,8 км. Глубоководным бурением установлено, что этот слой сложен сильно трещиноватыми и брекчированными базальтами, которые с увеличением возраста океанической коры становятся более консолидированными. Третий слой сложен породами в основном габброидного состава.

Кроме двух главных типов земной коры выделяется кора переходного типа - субконтинентальная в островных дугах и субокеаническая на континентальных окраинах.

Участки земной коры, различающиеся типом геологического строения, называются ***структурными элементами.*** *С* точки зрения закономерностей пространственного строения земной коры океаны и континенты - это ***структуры*** **I** (планетарного) порядка . В пределах структурных элементов I порядка по особенностям геологического строения и развития выделяются структуры П порядка: на материках - платформы и геосинклинальные пояса, на океанической коре - талассократоны и срединно - океанические хребты.

6. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ. ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Геология - наука естественно-историческая, и поэтому особо важное значение имеет ее раздел, посвященный изучению развития геологических событий по времени. Задачи исторической геологии - восстановление физико-географических обстановок накопления осадков в различные эпохи, последовательности формирования пород и их распределения по относительному возрасту, изучение истории развития органического мира от древнейших эпох до настоящего времени.

6.1. ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ И СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛЫ

В геологии как в никакой другой науке важна последовательность установления событий, их хронологии, основанной на естественной периодизации геологической истории. Геологическая хронология, или геохронология, основана на выяснении геологической истории наиболее хорошо изученных регионов. На основе широких обобщений, сопоставления геологической истории различных регионов Земли, закономерностей эволюции органического мира в конце прошлого века на первых международных геологических конгрессах была выработана и принята Международная геохронологическая шкала, отражающая последовательность подразделений времени, в течение которых формировались определённые комплексы отложений, и эволюцию органического мира. Таким образом, Международная геохронологическая шкала - это естественная периодизация истории Земли.

Среди геохронологических подразделений выделяются: зон, эра, период, эпоха, век, время. Каждому геохронологическому подразделению отвечает комплекс отложений, выделенный в соответствии с изменением органического мира и называемый стратиграфическим: эонотема, группа, система, отдел, ярус, зона. Таким образом существует две шкалы - геохронологическая и стратиграфическая. Первую мы используем, когда говорим об относительном времени в истории Земли, а вторую, когда имеем дело с отложениями. В настоящее время выделяют три наиболее крупных стратиграфических подразделения - эонотемы: архейскую, протерозойскую и фанерозойскую.

6.2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Представления о закономерностях формирования земной коры развивались на протяжении длительного времени по мере накопления фактического материала, совершенствования геологических и геофизических методов исследований. Особое значение на современном этапе развития теоретической геологии имеют данные, полученные при изучении обширных океанических территорий, и результаты космических исследований.

Гипотезы горизонтального дрейфа континентов

Механизм горизонтального перемещения континентальных глыб был разработан в 1929г. американским учёным А.Холмсом. Его гипотеза подкоровых течений предполагает существование в мантии (субстрате) медленных конвективных потоков, обусловленных различным накоплением тепла под континентами и океанами. Восходящие конвективные потоки приводят к разрыву коры, раздвиганию блоков и образованию молодого океанического дна. В районах нисходящих потоков, наоборот, блоки сталкиваются, сминаются, образуя системы надвигов, шарьяжей, а глубинные слои коры даже вовлекаются в мантию, переходя в глубинные аналоги базальтов - эклогиты.

Можно отметить, что с разработкой гипотезы А.Холмса идеи мобилизма получили новый импульс, обусловивший их широкую популярность и в наши дни. Кроме того, в последние годы при изучении строения дна океанов получены новые данные, которые

также используются для подтверждения возможности горизонтального дрейфа. Эти данные послужили основой гипотезы новой глобальной тектоники, или тектоники плит. Гипотеза разработана американскими учёными Г.Хессом и Р.Дицем. Значительный вклад в её развитие внесли зарубежные и советские геологи.

Основные идеи, положенные в основу гипотезы тектоники плит, связаны с открытием зон формирования молодой океанической коры в зонах рифтообразования и зон поглощения коры у глубоководных желобов.

По мнению авторов гипотезы, в зонах рифтообразования происходит "раздвигание" плит литосферы с образованием молодой океанической коры в центральной рифтовой зоне. Это явление называется ***спредингом*** океанического дна, характеризуется прерывистостью, сопровождается внедрениями мантийного вещества из астеносферы и разрывами маломощных базальтов в рифтовой зоне. С этой активной зоной связаны проявления вулканизма, неглубокие зоны землетрясений и аномалии теплового потока.

Образование новой коры в зонах спрединга сопровождается поглощением блоков (плит) литосферы в других участках нашей планеты. По мнению авторов гипотезы, такими участками являются зоны глубоководных океанических желобов, в которых происходит прерывистое поддвигание одной плиты литосферы под другую. Это явление называется ***субдукцией,*** сопровождается кратковременным выделением значительной механической энергии в виде землетрясений, проявлений вулканизма. Длительное поддвигание океанической коры под континентальную приводит к деформации окраинного моря, смещению островной дуги к континенту и складкообразованию. При этом поддвигание может смениться развитием обширных надвигов океанической коры - ***обдукцией***. Другим путём образования орогенных зон, по мнению авторов гипотезы, является столкновение - ***коллизия*** континентов.

Движущие силы механизма перемещения блоков литосферы авторы гипотезы тектоники плит связывают с конвективным перемешиванием мантийного вещества, что близко к взглядам А.Холмса. Однако в отличие от положений гипотезы подкоровых течений, в соответствии с рассматриваемой гипотезой потоки мантийного вещества здесь замыкаются на уровне астеносферы.

Таким образом, в соответствии с гипотезой тектоники плит под действием потоков мантийного вещества происходят глобальные перемещения континентов, но не изолированно, как считал А.Вегенер, а в составе мощных плит литосферы. При таком горизонтальном перемещении плит в зонах спрединга происходит обновление коры, а в зонах субдукции - её поглощение и растворение в астеносфере.

По современным данным, литосфера состоит из семи крупных плит, ограниченных зонами спрединга, субдукции или смятия: Тихоокеанской, Евразиатской, Индийской, Африканской, Антарктической, Северо-Американской и Южно-Американской.

7. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

7.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Важнейший раздел геологии, позволяющий решать обширные прикладные задачи, - учение о полезных ископаемых. Он включает в себя совокупность сведений о геологической позиции и закономерностях размещения месторождений различных полезных ископаемых, методику поисков и экономику минерального сырья, тесно соприкасается с технологий переработки руд и извлечения из них ценных компонентов.

Полезным ископаемым называют природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки (переработки) путем дробления, сортировки, обогащения для

извлечения ценных металлов или минералов. По физическому состоянию полезные ископаемые бывают газообразными, жидкими и твердыми. К первым относятся горючие газы углеводородного состава и негорючие инертные газы, ко вторым - нефть, рассолы, вода, к третьим - большинство полезных ископаемых, которые применяются как химические элементы или их соединения, а также в виде кристаллов, минералов, горных пород. По промышленному использованию полезные ископаемые разделяются на ***металлические, неметаллические, горючие или каустобиолиты, гидро-и газоминеральные.***

Металлические полезные ископаемые служат для извлечения из них металлов и элементов: черных (железо, титан, хром, марганец и др.); легирующих (никель, кобальт, вольфрам, молибден и др.); цветных (алюминий, свинец, цинк, сурьма, ртуть и др.); благородных (золото, серебро, платина, палладий и др.); радиоактивных (уран, радий, торий и др.); редких и рассеянных (висмут, цирконий, ниобий, тантал, галлий, германий, кадмий, индий и др.); редкоземельных (лантан, церий, иттрий, прометий, самарий, лютеций и др.).

К *неметаллическим* полезным ископаемым принадлежат строительные горные породы (естественные строительные камни, пески, глины, сырье для каменного литья, стекол и керамики и др.), индустриальное (алмаз, графит, асбест, слюды, драгоценные и поделочные камни, пьезокристаллы, оптические минералы и др.), а также химическое и агрономическое сырье (сера, флюорит, барит, галит, калийные соли, апатит, фосфориты и др.).

Горючие ископаемые включают торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, горючие сланцы, озокерит, нефть, горючий газ. Они служат энергетическим и металлургическим топливом, а также сырьем для химической промышленности.

К ***газоминеральному*** сырью относятся негорючие инертные газы: гелий, неон, аргон, криптон и др.

Гидроминеральные полезные ископаемые разделяются на подземные воды питьевые, технические, бальнеологические или минеральные и нефтяные, содержащие ценные элементы (бром, йод, бор, радий и др.) в количестве, позволяющем извлекать их, а также рассолы (озерные рассолы, минеральные грязи, илы). Важным гидроминеральным сырьем являются воды морей и океанов, используемые для получения пресной воды и извлечения многих ценных элементов.

Рудой называется минеральное сырье, содержащее ценные полезные компоненты (металлы, их соединения, минералы) в количестве, достаточном для промышленного извлечения при современном состоянии экономики, техники и технологии. В зависимости от вида извлекаемого компонента выделяются руды металлические (железные, медные, свинцово-цинковые и т. д.) и неметаллические (серные, асбестовые, графитные, апатитовые и др.). По количеству компонентов руды различают монометалльные (мономинеральные), биметалльные (биминеральные) и полиметалльные (полиминеральные).

Месторождением **полезного ископаемого** называется его природное в виде геологических тел скопление в земной коре, которое по условиям залегания, количеству и качеству минерального сырья при данном состоянии экономики и техники может служить объектом промышленной разработки в настоящее время или в ближайшем будущем. К месторождениям полезных ископаемых промышленность предъявляет требования, определяемые технической возможностью и экономической целесообразностью их разработки.

Совокупность требований промышленности к минеральному сырью называется ***кондициями*** - они не являются постоянными и зависят от экономических условий и состояния техники и технологии добычи и переработки минерального сырья.

Площади распространения полезных ископаемых в порядке их уменьшения разделяются на провинции, области (пояса, бассейны), районы (узлы), поля, месторождения, тела.

Телом полезного ископаемого называют ограниченное со всех сторон скопление минерального вещества, которое приурочено к отдельным структурным элементам или их комбинациям.

7.2. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Являясь природными минеральными образованиями, все полезные ископаемые обладают определенным вещественным (минеральным и химическим) составом, строением или структурно-текстурными особенностями, а также некоторым комплексом физических, физико-химических и технологических свойств. Все эти характеристики в общем случае обусловливают качество полезных ископаемых, которое имеет важнейшее значение для оценки месторождений с целью их промышленного использования.

Вещественный состав металлических и неметаллических руд определяется соотношением рудных, или ценных, и сопутствующих им нерудных, или жильных, минералов. В металлических рудах рудные минералы являются носителями ценных металлов, в неметаллических - минералы сами представляют практический интерес благодаря специфическим свойствам.

По составу преобладающей части минералов выделяются следующие типы руд:

самородные - самородные металлы и интерметаллические соединения - медь, золото, платина и др.;

сернистые **и им** подобные - сульфиды, арсениды и антимониды тяжелых металлов - меди, цинка, свинца, никеля, кобальта, молибдена и др.;

оксидные - оксиды и гидроксиды железа, марганца, хрома, олова, урана, алюминия и др.;

карбонатные - карбонаты железа, марганца, магния, свинца, цинка, меди и др.;

сульфатные - сульфаты бария, стронция, кальция и др.;

фосфатные - *апатитовые и фосфоритовые неметаллические руды, а также фосфаты некоторых металлов и др.;*

силикатные - *сравнительно редкие руды железа, марганца, меди; широко распространенные неметаллические полезные ископаемые - слюды, асбест, тальк и др.;*

галоидные - *минеральные соли и флюорит и др.*

По вещественному составу, определяющему промышленную ценность и технологические свойства, полезные ископаемые разделяются на природные типы и промышленные сорта.

7.3. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В настоящее время известно несколько десятков генетических классификаций месторождений полезных ископаемых. Наиболее известной является классификация В.И.Смирнова.

Эндогенные месторождения, к числу которых относятся скопления полезных ископаемых, прямо или косвенно связанные с магматической деятельностью, подразделяют на: собственно магматические, пегматитовые и постмагматические.

Магматическими называются месторождения, образующиеся из жидких магматических расплавов в процессе их внедрения и раскристаллизации. При подъеме магматических расплавов в верхние горизонты земной коры и остывании происходит их дифференциация, с чем связана концентрация, а иногда и полное обособление рудных компонентов. Процессы образования магматических месторождений достаточно сложны. В одних случаях месторождения образуются в результате внедрения

магмы, обогащенной рудными компонентами еще на глубине, в других - рудные концентрации возникают из магм при ее подъеме, в третьих - лишь на месте становления интрузива.

Главная особенность всех магматических месторождений - их связь с материнскими интрузивами, которые рассматриваются как вещественный или энергетический источник оруденения. Магматические месторождения разделяются на генетические подгруппы: ликвационные, раннемагматические и позднемагматические.

В группу ***экзогенных*** включаются скопления полезных ископаемых, которые образуются при экзогенных процессах в результате химической, биохимической и механической дифференциации вещества земной коры. По способу накопления осадочного материала различают месторождения выветривания и осадочные.

К ***месторождениям выветривания*** относятся остаточные и инфильтрационные месторождения. ***Остаточные*** месторождения полезных ископаемых образуются при физическом и химическом выветривании горных пород, которое сопровождается гидролизом породообразующих минералов, растворением и выносом неустойчивых компонентов.

К **осадочным месторождениям** относятся аллювиальные и прибрежно-морские россыпи, химические и биохимические осадочные месторождения.

Метаморфизованными называют месторождения любого происхождения, испытавшие метаморфические преобразования одновременно с вмещающими породами. При этом процессы метаморфизма могут выражаться в изменении и преобразовании структур и текстур, изменении характера минерального состава руд, а также в переотложении рудного вещества, изменении формы рудных тел, рассланцевании и изменении состава вмещающих пород.

Под ***метаморфическими*** месторождениями понимают такие месторождения, которые возникли в результате метаморфизма горных пород, до того не содержащих промышленных рудных скоплений и не представляющих собой полезного ископаемого. К возникающим в процессе метаморфизма собственно метаморфическим месторождениям относятся месторождения высокоглиноземистого сырья (кианит, андалузит, силлиманит), графита, гранулированного кварца, слюды, амфибол-асбеста, корунда, наждака, граната, титана и др.

8. СИСТЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

Геологическое изучение недр в России производится последовательно и планомерно с тем, чтобы не только получить необходимую геологическую информацию о недрах, но и своевременно выявить промышленные и отбраковать непромышленные скопления полезных ископаемых. В общей системе геологического изучения недр можно выделить три крупных этапа. Этапы геологического изучения включают несколько последовательных стадий.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения.

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр прогнозирование полезных ископаемых.

Этап II. Поиски и оценка месторождений.

Стадия 2. Поисковые работы.

Стадия 3.Оценочные работы.

Этап III. Разведка и освоение месторождений.

Стадия 4. Разведка месторождения.

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

На каждой стадии геологического изучения недр осуществляется их геолого-промышленная оценка, заключающаяся в определении действительной или возможной

значимости изучаемого участка земной коры, в котором содержатся или могут содержаться скопления полезной минерализации или же предполагается горное строительство. С этой целью исследуются состав и строение горных пород и полезного ископаемого, условия залегания, степень и характер тектонической нарушенности, гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики месторождения, географо-экономические условия района и т. п.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Для более углубленного изучения отдельных разделов геологических дисциплин рекомендуем воспользоваться следующими методическими указаниями.

Часть 1. Минералы.

Часть 2. Магматические горные породы.

Часть 3. Метаморфические горные породы.

Часть 4. Осадочные горные породы.

Часть 5. Организация геологических экскурсий.

Часть 6. Художественная обработка камнесамоцветного сырья.

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ОСНОВЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Специальность:
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……4
1. ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ……7
1.1.Оконтуривание рудного тела в разрезе скважины и в поперечном сечении……7
1.2. Оконтуривание пластообразной рудной залежи на плане……12
2. ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ……16

ВВЕДЕНИЕ

Оконтуривание месторождений полезных ископаемых – это определение на горизонтальной, вертикальной проекциях и разрезах границ контуров распространения залежей полезного ископаемого или его частей (отдельных тел, блоков, горизонтов). Оно производится по показателям кондиций: бортовому содержанию полезного компонента, минимальному промышленному содержанию, минимальной мощности тела полезного ископаемого или метропроценту и ряду других. Оконтуривание месторождений полезных ископаемых – этап, предшествующий подсчету запасов полезных ископаемых. Оконтуривание сводится к установлению опорных точек контура объекта по естественным обнажениям, горным выработкам, разведочным скважинам и построению по ним линии подсчетного контура залежи. Для подсчета запасов отстраивается промышленный контур, ограничивающий кондиционные участки тела полезного ископаемого. Он может быть внутренним и внешним. **Внутренний** контур отстраивается через крайние разведочные пересечения, встретившие полезное ископаемое; **внешний** – через точки предполагаемых естественных или условных (экстраполированных) границ распространения месторождения.

В пределах выработки опорные точки устанавливаются по данным замеров, непосредственных наблюдений и опробования. При четких геологических границах подсчетный контур совпадает с геологическим. При сложном распределении полезных компонентов оконтуривание производят по пробе с бортовым содержанием, по мощности или метропроценту (произведению величины мощности на содержание). При отстройке подсчетного контура установленные по отдельным выработкам опорные точки переносятся на планы, разрезы или проекции и соединяются прямыми или изогнутыми (согласно геологической структуре) линиями. Положение опорных точек между крайними пересечениями с кондиционными и некондиционными показателями находят способом интерполяции. За пределами выработок с кондиционными показателями при отсутствии оконтуривающих пересечений подсчетный контур определяют методом экстраполяции с использованием геолого-геофизических данных по месторождению.

Запасы, оконтуренные по достаточно густой сети разведочных пересечений, могут быть отнесены к категориям *A* и *B*, а на объектах сложного геологического строения – к категории C_1. Запасы, распо-

ложенные за пределами внутреннего контура, обычно относятся к категориям C_2 и реже – C_1.

Подсчетом запасов называется операция по определению количества промышленно пригодного минерального сырья в недрах. Разведанные и правильно учтенные запасы полезных ископаемых представляют надежную основу для экономики страны. Поэтому обоснованный подсчет запасов для разных видов минерального сырья имеет важное государственное значение. Хотя подсчет запасов является вычислительной операцией, в его основе лежит методически обоснованная разведка и всестороннее изучение геологического строения месторождения полезного ископаемого.

По Л. И. Четверикову (1984) понятие «**методика разведки**» является базовым понятием теории разведки. Оно включает в себя: а) комплекс локальных наблюдений и замеров разведочных параметров (метод разведки); б) способы осуществления этих наблюдений и замеров; в) методы обработки, анализа и оценки разведочной информации; г) интерпретацию данной информации и создание эмпирической модели разведуемых недр. Пункт «а» занимает особое положение. Он реализуется через разведочные системы. Вслед за А. Б. Кажданом [1, 2] под разведочной системой мы понимаем совокупность определенным образом расположенных разведочных пересечений. По пространственной ориентировке разрезов разведочные системы подразделяются на три класса: 1) вертикальных разрезов; 2) горизонтальных разрезов; 3) продольных разрезов. Выбор системы разведки зависит от ряда факторов: а) поставленных задач и выбранной методики разведки; б) горно-геологических особенностей разведки; в) имеющихся технических средств; г) географо-геоморфологических и экономических факторов. Оптимальной будет такая система разведки, которая позволит решить поставленные задачи и осуществить оценку недр с наименьшей затратой времени и материально-технических средств.

Подсчет запасов и сопутствующее ему изучение месторождений проводятся для: а) определения количества минерального сырья в недрах с выяснением распределения запасов по отдельным сортам и участкам месторождения; б) обоснования степени надежности цифр подсчета запасов и степени изученности месторождения; в) сбора необходимых данных для геолого-экономической оценки разведуемого месторождения, включающей обоснование способа вскрытия и отработки объекта, оценку технологических свойств и качеств минераль-

ного сырья, расчет экономической целесообразности промышленного освоения.

Запасы какого-либо компонента (например, металла) в недрах рудного месторождения рассчитываются по формуле

$$P = Q \cdot c,$$

где P – запасы компонента (например, металла); Q – запасы минерального сырья (например, руды); c – среднее содержание компонента в контуре подсчитываемых запасов (например, среднее содержание металла в руде).

Если «c» выражено в процентах, то $P = Q\dfrac{c}{100}$.

Запасы минерального сырья (Q) определяются по формуле

$$Q = V \cdot d\ ,$$

где V – объем тела полезного ископаемого, по которому производится подсчет запасов, м^3; d – объемная масса минерального сырья в недрах, т/м^3.

Объем тела полезного ископаемого (V) определяется по формуле

$$V = S \cdot m,$$

где S – площадь полезного ископаемого, м^2; m – средняя мощность тела полезного ископаемого в пределах контура подсчитываемых запасов, м.

В итоге формулу подсчета запасов можно выразить так: $P = S \cdot m \cdot d \cdot c$

$$\text{или}\quad P = \frac{S \cdot m \cdot d \cdot c}{100}.$$

Запасы минерального сырья в недрах (Q) устанавливаются в следующих единицах: 1) запасы руды коренных металлических месторождений твердых полезных ископаемых – в тыс. т; 2) запасы песков россыпных месторождений, пород для строительных целей и др. – в тыс. м^3 или млн м^3. Запасы компонентов учитываются в т или в тыс. т. При этом для железа, марганца, хрома, ванадия и алюминия определяются только запасы сырой руды (Q) и среднее содержание в ней металла (c), а запасы металлов (P) не вычисляются. Запасы благородных металлов (золота, платины, серебра) определяются в кг или т. При подсчете запасов алмазов содержание выражается в каратах (1 карат = 200 мг) или граммах.

Запасы подсчитываются по месторождениям (участкам) по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе их изучения и промышленного освоения. Они оцениваются в недрах без введения поправок на потери и разубожи-

вания при добыче, обогащении и переработке концентратов. В комплексных месторождениях подлежат подсчету запасы основных и совместно залегающих с ними полезных ископаемых, а также содержащиеся в них основные и попутные полезные компоненты (металлы, минералы, химические элементы и их соединения), целесообразность промышленного использования которых определена кондициями на минеральное сырье.

1. ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Важнейшим элементом разведки месторождений полезных ископаемых является оконтуривание залежей, позволяющее определить их форму и внутреннее строение. Оконтуривание ведется по показателям кондиций, которые зависят от способа определения границ тела полезного ископаемого (визуальный или путем опробования), от характера распределения полезного компонента (равномерное, неравномерное) и от сложности внутреннего строения.

Первоначально выполняется оконтуривание тела по разведочной выработке, а затем оконтуривание в разведочном сечении и на плане. По данной теме предлагаются два задания, работа над которыми дает студенту представление об оконтуривании рудных залежей. В обоих заданиях контуры промышленного оруденения устанавливаются по данным опробования. Это позволяет при выполнении каждого задания убедиться в тесной связи количества балансовых запасов от качества полезного ископаемого. В каждом задании следует показать штриховкой распределение балансовых и забалансовых запасов.

1.1. Оконтуривание рудного тела в разрезе скважины и в поперечном разведочном сечении

Дано: поперечный геологический разрез пластообразной залежи гипергенных никелевых руд, полученный по данным эксплуатационной разведки (рис. П. 1 – П. 3). Разведочные скважины расположены друг от друга на расстоянии 10-15 м. Длина керновых проб 2 м. Содержание никеля вынесено рядом с соответствующими пробами. Фрагмент этого разреза приведен на рис. 1. Для реализации индиви-

дуальной самостоятельной работы каждого студента на группу выдается 3 разреза по 10 вариантов в каждом.

В процессе оконтуривания следует руководствоваться следующими кондициями:

1. Минимальная рабочая мощность – 2 м.

2. Максимальная мощность пустых пород и забалансированных руд, включаемых в промышленный контур рудного тела, – 2 м.

3. Бортовое содержание никеля повариантно (табл. 1).

Таблица 1

Кондиции для оконтуривания по конкретным вариантам задания

Варианты		Бортовое содержание никеля, % масс.	Минимальное промышленное содержание никеля по блоку, % масс.
нечетные скважины	четные скважины		
1, 11, 21	6, 16, 26	0,7	1,05
2, 12, 22	7,17,27	0,8	1,10
3, 13, 23	8, 18, 28	0,9	1,15
4, 14, 24	9,19,29	1,0	1,20
5, 15, 25	10, 20, 30	1,1	1.30

4. Минимальное содержание никеля, принятое за нижний предел для оконтуривания забалансовых руд, составляет 0,5 % масс.

Необходимо:

а) пользуясь кондициями, определить опорные точки для оконтуривания в пределах каждой выработки; отметки кровли и подошвы залежи соединить пунктирной линией;

б) вычислить и поставить над скважиной в виде дроби мощность рудной залежи (числитель) и среднее содержание никеля в процентах (знаменатель);

в) провести контуры забалансовых руд в разведочном сечении;

г) вычислить площадь балансовых руд в разрезе и линейный запас никеля, приняв значение объемной массы сухой руды, равной 1,15 т/м^3;

д) исследовать зависимость линейного запаса балансовых руд (количество) от уровня бортового содержания, принятого при оконтуривании.

Методические указания к выполнению работы.

Каждый студент получает разведочный профиль с исходными данными для оконтуривания в соответствии с вариантом задания (1-10, 11-20, 21-30), определяемым согласно порядковому номеру студента в групповом журнале. Каждый вариант предусматривает обработку данных по четным или нечетным скважинам, входящим в разведочный профиль.

Наметив по заданному бортовому содержанию верхнюю границу рудного тела по каждой скважине, следует соединить из жирной пунктирной линией, соответствующей положению в пространстве кровли рудного тела. Затем аналогичным образом необходимо провести пунктирную линию, соединяющую отметки подошвы рудного тела.

Далее необходимо выделить участки забалансовых руд, включаемых в контур рудного тела. Как правило, они соответствуют спаренному положению двух проб с некондиционным (ниже бортового) содержанием никеля.

Наметив внешние и внутренние границы забалансовых руд, нужно определить среднее содержание никеля по скважине и общую мощность рудного тела по скважине (среднеарифметическим способом). Оба параметра выносятся в виде дроби над скважиной.

На рис. 1 дан пример оконтуривания на одном из участков разреза. При бортовом содержании никеля 0,8 % по скважине № 1 мощность залежи составила 10 м, так как некондиционный интервал с содержанием 0,53 % не превышает 2 м. Среднее содержание никеля по пяти пробам составило 0,95 %.

Скважина 3 вскрыла внутри рудного тела интервал забалансовых руд мощностью 4 м (0,70 и 0,75 %). Поскольку согласно кондициям внутри рудного тела такие руды могут присутствовать лишь в виде прослоев не более 2 м, этот интервал исключается из контура балансовых руд. Однако, если такой участок окружен балансовыми рудами в соседних скважинах, он вычленяется на разрезе как «островок» забалансовых руд. Некондиционные интервалы мощностью 2 м, располагающиеся среди кондиционных, включаются в контур балан-

совых руд без каких-либо ограничений. Примером может служить интервал с содержанием 0,7 % никеля по скважине 5 (см. рис. 1). В случае более высоких требований кондиций к качеству руд ($C_{б.}$ = 0,9 % масс), этот интервал совместно с соседним (0,8 %) вычленяется из рудного контура как «окно» забалансовых руд.

После проведения контура балансовых руд следует проверить правильность оконтуривания. С этой целью необходимо вычислить среднее значение мощности рудного тела (среднеарифметическое) и среднее содержание никеля по разведочному сечению (средневзвешенное). При соблюдении неравенства $\overline{C} \geq C_{\text{мин. пр.}}$ можно считать оконтуривание завершенным. Если среднее содержание никеля меньше минимального промышленного, нужно исключить из расчета среднего значения скважины с наименьшим содержанием никеля (одну-две) и вновь проверить наличие приведенного выше неравенства.

Закончив оконтуривание балансовых руд, следует провести, по соответствующему показателю кондиций, контуры забалансовых руд (верхний и нижний) и показать распространение названных типов руд в разведочном сечении соответствующей штриховкой (см. рис. 1). Проведя оконтуривание балансовых руд по разрезу, нужно определить их площадь (S) в м^2, учитывая соотношение вертикального и горизонтального масштабов. Это можно сделать с помощью палетки или умножением длины залежи в разрезе на среднюю ее мощность, вычисленную ранее. В качестве палетки можно использовать кальку, на которой равномерно по квадратной сетке (1,0 х 1,0 см) нанесены яркие (жирные) точки, каждая из которых соответствует единичной площадке, определяемой произведением знаменателей горизонтального и вертикального масштабов. В нашем случае это 20 м^2 (1:1000 и 1:200). Если точки на палетке нанести через 0,5 см, то площадь зоны влияния каждой точки будет 5 м^2. Точки, попавшие на границу контура, соответствуют половине единичной площадки (10 или 2,5 м^2 соответственно). Для повышения точности вычисления площади определение площади по палетке следует выполнить дважды.

Затем необходимо определить линейный запас никеля ($P_{\text{Ni}i}$) в слое 1 м, пользуясь формулой

$$P_{\text{Ni}} = S \cdot 1 \cdot d \cdot \overline{C} \cdot 100^{-1},$$

где S - площадь балансовых руд, м^2; d - объемная масса сухой руды, т/м^3; $\overline{C}$ - среднее содержание никеля по разрезу, % масс.

Заключительная часть работы состоит из исследования связи количества руды (линейный запас) от его качества (среднее или бортовое содержание никеля). Для этого студенты, выполнявшие оконтуривание при различных вариантах бортового содержания, но при одинаковых исходных данных (варианты 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25, 26-30), объединяются в группы по пять человек для обмена полученными результатами и их обсуждения. Обменявшись значениями вычисленных линейных запасов никеля в балансовых рудах, каждый студент строит график зависимости величины линейного запаса (ордината) от бортового содержания (абсцисса). В итоге он убеждается в конкретном проявлении зависимости подсчитанных запасов от принятых кондиций.

Итоги проделанной работы отображаются на правой стороне отчетного бланка, где последовательно (сверху вниз) приводятся следующие данные:

- промышленные кондиции, использованные при оконтуривании (бортовое и минимальное промышленное содержание никеля);
- среднее содержание никеля по разрезу в сопоставлении с минимальным промышленным, % масс;
- средняя мощность рудного тела, м;
- площадь балансовых руд в разведочном сечении, $м^2$;
- расчет линейного запаса никеля, т;
- график зависимости линейного запаса никеля от его бортового содержания.

Время выполнения работы в аудитории – 2 часа.

1.2. Оконтуривание пластообразной рудной залежи на плане

Оконтуривание залежи гипергенных никелевых руд реализуется в проекции на дневную поверхность после проведения оконтуривания в каждой скважине и разведочном пересечении.

Дано: Разведочный план небольшого месторождения гипергенных никелевых руд, разведанного по сети 50 х 50 м в стадию оценочных работ (номера скважин 1-86) и 25 х 25 м в стадию разведки (номера скважин 87 и более). Возле каждой скважины показаны мощность рудного тела и среднее содержание никеля по пересечениям с балансовыми рудами. По скважинам, не вскрывшим промышленного оруденения, выносятся содержания никеля по забалансовым рудам. Фрагмент этого плана приводится на рис. 2.

Основные показатели кондиций, определяющие условия оконтуривания, приведены в табл. 2. Всего предложено пять значений кондиционных показателей.

Таблица 2

Промышленные кондиции для оконтуривания залежей в плане

Варианты заданий				Бортовое содержание никеля, % масс.	Минимальное промышленное содержание никеля по залежи, % масс.
а	б	в	г		
1	6	11	16	0,7	1,05
2	7	12	17	0,8	1,10
3	8	13	18	0,9	1,15
4	9	14	19	1,0	1,20
5	10	15	20	1,1	1,30

Варианты с индексами «а» (1-5) и «в» (11-15) выполняются с использованием всех скважин, а с индексами «б» (6-10) и «г» (16-20) – по скважинам стадии оценочных работ (см. рис. 2).

При названных условиях одновременно реализуется 20 индивидуальных решений данного задания.

В качестве дополнительных кондиций заданы:

1. Минимальная рабочая мощность – 2 м;

2. Минимальное содержание никеля, дающее право относить руды к забалансовым – 0,5 % масс.

Необходимо: пользуясь заданными кондициями, провести оконтуривание балансовых и забалансовых руд, отобразив их штриховкой на бланке задания.

Методические указания к выполнению работы.

Каждому студенту выдается план расположения разведочных скважин со значениями мощностей рудных тел и средних содержаний никеля по разведочным пересечениям. В соответствии с порядковым номером студента в групповом журнале определяется вариант его индивидуального задания, включающий перечень разведочных скважин, участвующих в оконтуривании, и промышленные кондиции, при которых оно должно быть выполнено (см. табл. 2).

В контур балансовых руд включаются скважины с содержанием никеля выше бортового. Положение контура на плане определяется интерполяцией между скважинами с кондиционным и некондиционным содержанием и фиксируется жирной пунктирной линией. Аналогичным образом проводится внутриконтурная граница балансовых и забалансовых руд.

После проведения контура балансовых руд необходимо вычислить средневзвешенное содержание никеля по залежи (блоку) и среднюю мощность залежи. Оконтуривание можно считать выполненным правильно, если соблюдается неравенство: $\overline{C} \geq C_{\text{мин. пр.}}$ Если приведенное неравенство не соблюдается, то запасы руды оконтуренного блока или залежи относятся к забалансовым. Для того, чтобы перевести их в балансовые, нужно исключить из проведенного контура одну или несколько скважин с наименьшим содержанием никеля и вновь проверить приведенное выше неравенство. При его соответствии заданному условию оконтуривание балансовых руд можно считать завершенным.

Следующей операцией оконтуривания следует считать проведение контура забалансовых руд, включив в него скважины с содержанием никеля более 0,5 % масс.

Для вариантов оконтуривания с использованием всех скважин, нанесенных на разведочном плане (обозначены в табл. 2 символами «а» и «в»), необходимо провести дополнительный контур через крайние скважины с содержанием никеля выше бортового. Его следует провести жирной сплошной линией. Это будет контур, ограничивающий запасы категории В. При этом запасы балансовых руд между сплошной и пунктирной линиями будут отнесены к категории C_1 (см. рис. 2).

Положение контура балансовых руд проводится на середине расстояния между скважинами с параметрами, соответствующими кондициям и некондиционными.

После выполнения оконтуривания необходимо произвести подсчет запасов руды и металла в контурах балансовых запасов. Затем, объединившись в группы по пять человек с одинаковыми исходными данными (а – г, см. табл. 2), студенты обмениваются итогами расчетов запасов руды и металла и строят графики зависимости запасов никеля (ординаты) от бортового содержания (абсцисса).

Требования к оформлению результатов работы.

В итоге работы на разведочном плане с исходными данными каждый студент показывает штриховкой контуры развития балансовых и забалансовых руд (см. рис. 2). На поле справа указываются: кондиции, при которых производилось оконтуривание; средние содержания никеля и средние мощности руд по залежам (блокам); площади выделенных блоков и запасы руд и металла по каждому из них; график зависимости запасов никеля от бортового содержания, принятого при оконтуривании.

В вариантах с полным использованием разведочных данных (см. табл. 2) на плане выделяются площади блоков, соответствующих по разведанности категориям B и C_1.

Время выполнения работы – 2 часа.

2. ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ

Целью предлагаемых к решению задач (задания 1-12, рисунки 3-14) является – приобретение студентами навыков проектирования оценочных работ в пределах рудоперспективных участков.

Порядок выполнения работы.

1) Ознакомившись с геологической ситуацией, отображенной на бланке задания, необходимо сделать заключение о возможном геолого-промышленном типе месторождения, руководствуясь литературными сведениями [3, 4, 5]. Для отнесения оцениваемого объекта к определенному промтипу следует учитывать: форму, размеры, условия залегания выходящих на поверхность залежей полезного ископаемого; состав, условия залегания рудовмещающих пород; уровень установленных при опробовании концентраций полезных компонентов.

2) Привести примеры месторождений-эталонов. Охарактеризовать возможный минеральный и химический состав полезного ископаемого (руководствуясь рекомендованными источниками).

3) Обосновать возможную группу прогнозируемого месторождения по сложности геологического строения для целей разведки, взяв рекомендации инструкции ГКЗ [6].

4) Сформулировать задачи, решаемые при проведении оценочных работ. Уточнить их применительно к конкретной геологической обстановке.

5) Обосновать систему разведочных работ (форму, плотность разведочной сети). Нанести проектные выработки на план и отстроенные проектные геологические разрезы – 1-2 шт. (размещенные в нижней части листа – на бланке задания).

6) Наметить виды и способы отбора проб применительно к конкретному типу полезного ископаемого. Для каждого вида опробования (химического, геохимического, минералогического, технологического, технического, геофизического) обосновать цель исследования, способы отбора проб, параметры проб (сечение, длину, массу пробы). Составить схему обработки проб. Все запланированные виды исследований отразить в табличной форме.

7) Подсчитать проектные запасы полезного ископаемого по категории C_1 (для отдельных блоков), C_2, а также прогнозные ресурсы по категории P_1. Ограничить проектные выработки глубиной до 100-150 м, в отдельных случаях – до 200 м (в зависимости от типа полезного ископаемого). По запроектированным выработкам предусмотреть возможные (вероятные) параметры (мощность залежи, содержание полезного компонента, объемная масса руды и т. д.). Обосновать метод подсчета запасов и выполнить его, отразив результаты в табличной форме.

Отчетными документами являются графический материал и пояснительная записка к нему. На приведенной на бланке задания схематической геологической карте следует нанести проектные разведочные выработки (горноразведочные, буровые скважины), отразив номерами последовательность их проходки. Проектные выработки должны быть также нанесены и на отстроенные геологические разрезы, а также при необходимости на продольную вертикальную проекцию. На графике отразить контуры блоков проектных запасов категории C_1, C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1. В пояснительной записке обосновать методику оценочных работ, объем аналитических исследований. Геолого-промышленную значимость оцениваемого объекта сравнить с литературными сведениями [3, 4, 5, 7]. Время выполнения задания – 6-8 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каждан, А. Б.* Разведка месторождений полезных ископаемых / А. Б. Каждан. – М.: Недра, 1977. – 327 с.

2. *Каждан, А. Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Научные основы поисков и разведки) / А. Б. Каждан. – М.: Недра, 1984. – 285 с.

3. *Авдонин, В. В.* Месторождения металлических полезных ископаемых / В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев [и др.]. – М.: Трикста, 2005. – 720 с.

4. *Малахов, И. А.* Промышленные типы металлических полезных ископаемых / И. А. Малахов, П. Л. Бурмако, А. П. Алексеев. - Екатеринбург: УГГУ, 2007. – 209 с.

5. *Яковлев, П. Д.* Промышленные типы рудных месторождений / П. Д. Яковлев. – М.: Недра, 1986. – 358 с.

6. *Сборник нормативно-методических документов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых.* – М.: ГКЗ, 1998. – 319 с.

7. *Баранников, А. Г.* Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых: лабораторный практикум с основами теории / А. Г. Баранников, А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник. – Екатеринбург: УГГУ, 2004. – 104 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

для обучающихся специальности

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 3

Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых

форма обучения: очная, заочная

Авторы: Макаров А.Б., профессор, д.г.-м.н.,
Малюгин А.А., доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург
2020

Самостоятельная работа студентов в рамках учебного процесса играет важную роль в изучении дисциплины «Месторождения полезных ископаемых», поскольку основными объектами труда горных инженеров-геологов – поисков, разведки являются месторождения полезных ископаемых. Поэтому в процессе обучения у студентов формируются представления о месторождения полезных ископаемых как геологических объектах, возникающих в процессах формирования и развития земной коры. Главные задачи профессиональной деятельности – разработка научно обоснованных направлений поисковых работ и выбор рациональной методики разведки месторождений полезных ископаемых могут быть успешно решены при условии овладения студентом современных представлений о геологических и физико-химических условиях их формирования. В процессе самостоятельной работы студент получает представление об особенностях строения каждого типа месторождений как модели месторождений, с которым он будет сталкиваться в процессе своей будущей практической деятельности, и сравнивать с ними конкретные объекты. Для этого в рамках самостоятельной работы в первую очередь следует обратить внимание на изучение имеющегося на кафедре каменного материала, характеризующего большую часть типов промышленных месторождений.

Основное содержание дисциплины и объемы самостоятельной работы по разделам дисциплины приведены в таблице

№№ тем	Содержание	Часы по СРС
1	Форма и условия залегания рудных тел	20
2	Структуры и текстуры руд	20
3	Изучение генетических типов месторождений полезных ископаемых	29
4	Подготовка к экзамену	27

Методические указания по организации самостоятельного изучения дисциплины

1. Освоение лекционного курса

Лекции по дисциплине «Месторождения полезных ископаемых» дают главный материал, как по теории, так и по практике исследований генезиса и геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Современные проблемы, рассматриваемые в данной дисциплине, обусловлены как появлением новых теоретических представлений о геологии месторождений, так и их новых промышленных типов. Это требует после

прослушивания лекций обращаться к рекомендуемой литературе для более глубокой проработки соответствующей темы, детального рассмотрения основных терминов, проблемных вопросов и подходов к их решению, а также изучения дополнительного материала по теме для последующего выполнения лабораторных заданий.

После прослушивания лекции необходимо:

- внимательно просмотреть конспект лекции и (используя поля) сделать необходимые пояснения к сокращениям, аббревиатурам, терминам и т.п.;
- используя рекомендованную литературу уяснить проблемные вопросы и подходы к их решению;
- в письменном виде сформулировать вопросы, которые следует задать преподавателю для окончательного усвоения темы лекции;
- следует взять за правило – выполнять работу с конспектом лекций в тот же день, когда лекция прослушана и в памяти еще осталась часть ее содержания.

2. Подготовка, выполнение и оформление практических занятий

Практические занятия расширяют область знаний в изучаемой дисциплине и показывают применение теоретической части в практике исследований, позволяют самостоятельно оперировать знаниями в решении практических задач.

Наиболее важным в этом плане является изучение и закрепление знаний о вещественном составе минерального сырья по методическим указаниям, имеющимся на кафедре ГПР МПИ. Последующим этапом закрепления теоретического материала является изучение новых разрабатываемых месторождений в рамках существующих геолого-промышленных типов и генетической классификации МПИ.

Особое внимание при изучении генетических типов месторождений следует обратить на работу с научной литературой по данной проблематике.

Чтобы лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнения в решении практических задач, подготовка к занятиям проводятся по прочитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных разделов лекционного курса. Они вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

В рамках программы изучения дисциплины «Месторождения полезных ископаемых» предусматривается следующая тематика лабораторных работ.

Тема 1. Форма и условия залегания рудных тел.

Цель практических работ – ознакомиться с принципами определения формы рудных тел, изучить геологические разрезы, определить формы рудных тел на реальных геологических разрезах и найти их место в квалификационной таблице; по геологической обстановке на разрезе определить главные факторы, обусловившие форму и место локализации полезного ископаемого.

Места локализации рудных тел и, соответственно, их форма определяется рядом геологических факторов, в частности, условиям образования (эндогенными, экзогенными, или метаморфогенными). Как следствие, при изучении геологических разрезов месторождений, после определения формы рудного тела следует внимательно ознакомиться с геологической обстановкой и попытаться определить, какой из геологических факторов является определяющим: сингенетичность или эпигенетичность руд: отложения или замещения и др.

При выполнении работы следует иметь в виду, что форма природных геологических тел в большинстве случаев далека от идеальной, и при определении названия подбирается наиболее близкий эталон – идеальное геологическое тело.

Тема 2. Структуры и текстуры руд

Цель занятий – ознакомиться с основными структурами и текстурами руд, описать особенности минералогического состава и текстур руд различного генезиса. При изучении образцов необходимо, прежде всего, определить рудные минералы, текстуры, определить тип месторождения по типоморфным текстурам. Для этого используются таблицы «Типы текстур руд» по С.А. Вахромееву (1979).

Тема 3. Изучение генетических типов месторождений полезных ископаемых

Цель практических работ – изучение теоретического и имеющегося в учебных коллекциях каменного материала, изучить парагенетические ассоциации минералов руд, описать имеющиеся в коллекциях образцы руд и определить их место согласно генетической классификации месторождений полезных ископаемых (по В.Ф. Рудницкому, «Основы учения о полезных ископаемых», стр. 46).

Последовательность изучения генетических типов МПИ рекомендуется следующим образом:

1). Повторение теоретического материала по лекции, учебным пособиям, консультации с преподавателем, просмотр дополнительной литературы из рекомендованного списка.

2). Самостоятельная работа по дополнительному изучению образцов руд из учебных коллекций кафедры.

3). Изучение примеров месторождений данного класса по литературным данным.

4). Проверка усвоения материала по «Вопросам и заданиям для самопроверки» (В.Ф. Рудницкий, «Основы учения о полезных ископаемых», стр. 233-245).

3. Рекомендации по работе с литературой

Изучение учебной и научной литературы является основным видом самостоятельной работы, которая сопровождает весь процесс изучения любой дисциплины. Организацию этой работы следует строить, используя следующие рекомендации:

1. Составить перечень книг, с которыми следует познакомиться , ориентируяясь на источники, содержащие необходимый материал.
2. Систематизировать перечень источников (для экзамена, для написания исследовательских работ.
3. Зафиксировать выходные данные по каждой книге.
4. Установить для себя, какие книги (или какие главы книги) следует прочитать более внимательно, а какие – просмотреть. При этом целесообразно проконсультироваться с преподавателем.
5. Все прочитанные книги, учебники и статьи рекомендуется конспектировать с указанием основных идей автора, наиболее ярких цитат (с указанием страниц источника).
6. На собственных книгах допускается делать на полях краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные для Вас мысли и обязательно указываются страницы в тексте – это позволяет экономить время и быстро находить «избранные» места в разных книгах.
7. Рекомендуется широко использовать интернет-источники и базы геологической литературы.

4. Подготовка к экзамену

На экзамене будут оценены полученные в процессе обучения знания (примерный перечень рассматриваемых на экзамене вопросов приведен ниже).

1). Понятие о полезных ископаемых и их месторождениях

2).Вещественный состав руд. Вредные и полезные компоненты. Комплексное использование руд.

3). Минеральный состав руд. Массивные и вкрапленные руды.

4). Рудоконтролирующие структуры.

5). Морфологическая классификация рудных тел. Формы рудных тел.

6). Понятия текстуры и структуры руд. Классификация текстур.

7). Гидротермально-метасоматические изменения вмещающих пород.

8). Источники рудного вещества эндогенных месторождений.

9). Источники рудного вещества экзогенных месторождений.

100. Причины и способы рудоотложения.

11). Раннемагматические месторождения- условия образования полезных ископаемых.

12). Позднемагматические месторождения- условия образования полезных ископаемых.

13. Ликвационные месторождения – условия образования и примеры месторождений.

14). Пегматиты: условия формирования месторождений, их типы и примеры.

15). Карбонатиты. Условия формирования, примеры месторождений.

16). Грейзены: факторы их образования, примеры месторождений.

17). Скарновые месторождения: условия формирования и примеры.

18). Порфировые месторождения: условия формирования и примеры.

19).Субвулканические (гидротермально-метасоматические) вулканогенные месторождения

20).Гидротермально-осадочные вулканогенные месторождения, условия их формирования и примеры.

21). Гидротермальные амагматогенные месторождения, условия формирования и примеры.

22). Месторождения выветривания и факторы их формирования.

23). Инфильтрационные месторождения.

24). Остаточные месторождения.

25). Механические месторождения полезных ископаемых и условия их формирования. Россыпные месторождения и их примеры.

26). Химические месторождения и условия их формирования.

27). Биохимические месторождения и условия их формирования.

28). Метаморфогенные месторождения.

Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. В процессе подготовки к экзамену имеющиеся пробелы в знаниях, углубляются, систематизируются и упорядочиваются знания. На экзамене демонстрируются знания и навыки, приобретенные в процессе обучения по данной дисциплине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ

а) основная

Рудницкий В. Ф. Основы учения о полезных ископаемых. Учебное пособие.- 3-е издание, исправленное и дополненное - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. -245 с.

б) дополнительная

Попова О.М. Полезные ископаемые: Лабораторный практикум с основами теории.-Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 97 с.

Рудные месторождения СССР В 3-х томах /под ред. Смирнова В.И., М.: Недра, 1978.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1989

Рабочая программа дисциплины Б1.В.03-Основы учения о полезных ископаемых

Интернет ресурсы: Все о геологии http://www.geo.web.ru

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой геологии,
поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых
_____ В.А.Душин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ ДЕЛО

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	3
2.	СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ	6
3.	СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
	3.1. Введение	7
	3.2. Общие сведения о районе работ	8
	3.2.1. Географо-экономическая характеристика	8
	3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ	8
	3.3. Геологическое строение района	9
	3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)	9
	3.5. Методика и объемы проектируемых работ	10
	3.5.1. Целевое геологическое задание	10
	3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ	11
	3.5.3. Прочие виды работ	12
	3.5.4. Опробование и аналитические работы	12
	3.5.5. Подсчет прогнозных ресурсов и запасов и их геолого-экономическая оценка	13
	3.6. Заключение	15
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	16
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример оформления титульного листа	18
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Образец оформления штампа на листах графики	19

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Целью курсового проекта по дисциплине «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых» является формирование у будущих специалистов системы знаний, раскрывающих методологию решения геологоразведочных задач и принципы геолого-экономической оценки месторождений.

Проектирование является сложным и ответственным видом работ. От качества проекта на производство геологоразведочных работ во многом зависит их конечный результат. Во время обучения в вузе основное внимание уделяется ознакомлению с новой информацией, большей частью теоретического характера. Молодой специалист, оказавшись на производстве, остро ощущает недостаток практического опыта. В первую очередь это касается необходимости принимать самостоятельные инженерные решения, направленные на выполнение геологического (технического) задания. Составляя курсовую работу, студенты приобретают определенные навыки в проектировании геологоразведочных работ, необходимые в дальнейшем для разработки выпускной квалификационной работы (дипломного проекта) и будущей профессиональной деятельности.

Курсовая работа выполняется студентами 5-го курса на базе материалов, собранных при прохождении преддипломной производственной практики. При отсутствии необходимых данных, требуемых для составления работы, сведения предоставляет кафедра. В том случае, если студент располагает достаточно представительным материалом, позволяющим произвести его углубленную обработку с использованием современных компьютерных технологий и на этой основе рассмотреть те или иные вопросы, составление проекта может быть заменено решением той или иной методической задачи геологоразведочной направленности.

Для подготовки курсовой работы студенты во время прохождения производственной практики должны собрать необходимые графические и текстовые материалы. Графические материалы включают: 1) геологическую

карту района работ в масштабе 1:50 000, 1:100 000 или 1:200 000 с разрезами, стратиграфической колонкой и условными обозначениями (легендой); 2) геологическую карту (план) месторождения (рудного поля) масштаба 1:25 000, 1:10 000 или крупнее; 3) геологические разрезы по месторождению или его части; 4) план подсчета запасов (продольная проекция). Графика сопровождается описанием геологии района и месторождения (участка), методики геологоразведочных работ, данными по подсчету запасов с результатами геолого-экономической оценки.

Для курсового проекта допускается отсутствие геологической карты района, однако для дипломного проекта она необходима. Исключение составляют проекты по нефтяным и газовым объектам, для которых вместо геологической карты района представляется, как правило, мелко-среднемасштабная тектоническая схема с указанием важнейших нефте-газоносных структур.

Главной задачей курсового проекта является обоснование методики геологоразведочных работ, отвечающих определенной стадии. В соответствии с Положением о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (1999) темой курсового проекта оценочные работы, разведка, или эксплуатационная разведка, например:

- оценочные работы на проявлении Нырдвоменшорское на медноколчеданное оруденение (Полярный Урал);

- разведка Главной рудной зоны Сусанского месторождения золота (Свердловская область);

- разведка глубоких горизонтов Астафьевского месторождения бокситов (Южный Урал);

- разведка северного фланга Мансуровского месторождения гранитов (Южный Урал);

- эксплуатационная разведка южной части нижнего рудного уровня Узельгинского месторождения (Челябинская область).

Независимо от выбранной стадии при выполнении курсового проекта студент должен решить следующие инженерные задачи:

- осветить степень геологической изученности рассматриваемой площади;

- определить главные задачи проектируемых работ;

- сформулировать целевое геологическое задание;

- выбрать и обосновать комплекс методов для выполнения целевого задания, определить виды и объемы запроектированных работ;

- произвести проектный подсчет запасов по объекту изучения с их геолого-экономической оценкой.

Задание на составление курсового проекта оформляется на специальном бланке, которое выдается преподавателем. На бланке указывается тема (название) проекта и сроки его выполнения. Преподаватель помогает студенту составить план проекта, рекомендует необходимую литературу, оказывает индивидуальные консультации.

На выполненный проект преподавателем пишется рецензия. Окончательная оценка выставляется после публичной защиты.

При подготовке методических рекомендаций использованы учебно-методические разработки кафедры ГПР МПИ к составлению курсовых проектов по дисциплинам «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» (А. Г. Баранников, 2013) и «Разведка и геолого-экономическая оценка МПИ» (Балахонов В. С., 2005), с которыми студенты могут подробнее ознакомиться на кафедре.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовой проект состоит из текстовой части и графических приложений. Текст работы не должен превышать по объему 25-35 страниц машинописного текста и включает следующие разделы (в скобках указан ориентировочный объем):

- титульный лист;

- оглавление;

- введение (1 стр.);
- общие сведения о районе работ (1-2 стр.);
- геологическое строение района (2-5 стр.);
- геологическая характеристика объекта (4-6 стр.);
- методика и объемы проектируемых работ (12-14 стр.);
- подсчет запасов, их геолого-экономическая оценка (2-3 стр.);
- заключение (1 стр.);
- список использованной литературы.

Текст работы представляется в распечатанном виде. Допускается также рукописный вариант. Страницы текста должны соответствовать формату А4 (297х210 мм). Поля по всему периметру – 20 мм. Перед текстовой частью помещается титульный лист (приложение 1), индивидуальное задание и оглавление.

Текст иллюстрируется схемами, фотографиями, зарисовками. Они должны иметь наименования, условные обозначения, масштаб и обозначаются как рисунок под соответствующим номером.

Графические приложения представляются на двух или трех листах. В правом нижнем углу помещается штамп установленного образца (приложение 2). Первым листом является геологическая карта района со стратиграфической колонкой, легендой, разрезом. Как отмечалось выше, в курсовой проект карта района может не включаться, но для дипломного проекта она необходима. На втором листе помещается геологическая карта месторождения или участка работ. Этот лист является основным и имеет методическое значение. На него наносятся известные месторождения, проявления и пункты минерализации, геохимические и геофизические аномалии, шлиховые ореолы. Здесь же указываются направления геологических маршрутов, проектные геофизические и геохимические профиля, пройденные и проектные геологоразведочные выработки. Второй лист может представлять собой план подсчета запасов по месторождению, участку месторождения, эксплуатируемому этажу или уступу. Карта участка (месторождения) сопровождается одним или двумя типичными

разрезами, в том числе проектным, которые могут быть помещены на отдельном листе. При необходимости в графические приложения включается вертикальная продольная проекция рудного тела с блокировкой запасов и указанием пройденных и проектных выработок.

3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1. Введение

Во введении обосновывается актуальность проекта и характеризуются исходные материалы, положенные в его основу. Оценивается потребность промышленности в данном виде минерального сырья, его конъюнктура на мировом и российском рынках. Рассматривается необходимость развития минерально-сырьевой базы региона в целом и данного вида полезных ископаемых в частности.

Указывается место и сроки прохождения производственной практики, организация, должность, выполнявшиеся работы. Приводятся основные фондовые и литературные источники, использованные при написании работы.

3.2. Общие сведения о районе работ

3.2.1. Географо-экономическая характеристика района

Указывается административное положение района работ, ближайшие населенные пункты, пути сообщения, возможности использования разных видов транспорта, ведущие промышленные объекты, источники энергообеспечения, наличие стройматериалов, возможности найма рабочих на месте. Описывается орогидрография: характер рельефа, абсолютные и относительные превышения, климат, гидрографическая сеть, режимы рек, источники питьевого и технического водоснабжения, наличие карстовых явлений, многолетней мерзлоты. Характеризуется растительный и животный мир, распространение покровных образований, кор выветривания, их мощности. Особо отмечается обнаженность пород, дешифрируемость аэро-космоснимков.

Перечисленные данные позволяют произвести анализ природных условий ведения геологоразведочных работ, учитываются при геолого-экономической оценке рудных объектов.

Для иллюстрации раздела приводится мелкомасштабная обзорная карта (схема) района с указанием местоположения участка работ.

3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ

Кратко освещаются основные результаты ранее выполненных на площади геологических, геофизических, геохимических и других видов работ. Обзор проводится в хронологическом порядке. Текст может сопровождаться схемами изученности.

Оценивается достоверность ранее выполненных исследований и обосновывается выбор участка проектируемых работ, обсуждается степень его разведанности, изученность вещественного состава с точки зрения комплексного использования полезных ископаемых, а также возможные перспективы продолжения оруденения на глубину или фланги месторождения, обнаружения слепых рудных тел.

3.3. Геологическое строение района

Приводятся данные о геолого-структурной позиции участка работ. Последовательно излагаются сведения по стратиграфии и литологии, магматизму, тектонике, гидрогеологии и полезным ископаемым. Для районов, перспективных на россыпное оруденение, дается геоморфологическая характеристика.

При описании полезных ископаемых кратко описываются все известные месторождения и рудопроявления, включая сведения о размерах залежей, их форме, минеральном составе, принадлежности к определенному рудно-формационному промышленному типу.

В дипломном проекте текст сопровождается геологической картой района со стратиграфической колонкой, условными обозначениями (легендой) и

разрезами. При подготовке раздела следует обратить внимание на совпадение текстовых и графических материалов. В тексте должны быть охарактеризованы свиты и комплексы, представленные на графике. Соответственно, геологическая карта, колонка, легенда и разрезы должны содержать одни и те же стратиграфические и интрузивные образования.

3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)

В зависимости от проектируемой стадии ГРР объектом работ является перспективный район, участок, рудопроявление или месторождение.

В данной главе уточняются и детализируются сведения, представленные в предшествующем разделе. Рассматриваются структурно-вещественные комплексы, образующие геолого-структурную позицию участка или месторождения. К ним относятся вмещающие горные породы, магматические тела, разломы, складки, вулканические структуры, геологические контакты.

В целом, описание участка или месторождения обычно включает следующие позиции:

- горные породы, участвующие в его строении;

- структурный контроль в размещении оруденения или структура рудного поля;

- характеристика выявленной минерализации. Для поздних стадий ГРР обязательно описывается форма, размеры, условия залегания рудных тел, вещественный состав руд, их текстурно-структурные особенности, первичная и вторичная зональность, генезис месторождения, а также характеризуются горно-геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождения.

Раздел иллюстрируется крупномасштабной геологической картой месторождения, детальными геологическими разрезами, в том числе обязательно проектным. При необходимости представляется продольная проекция, построенная в плоскости падения, или вертикальная, на которой показано размещение запасов разных категорий.

3.5. Методика и объемы проектируемых работ

3.5.1. Целевое геологическое задание

С учетом представленного выше обоснования формулируется геологическое задание, которое должно отвечать определенной стадии геологоразведочного процесса:

- оценочные работы;
- разведка участка месторождения, флангов, глубоких горизонтов;
- эксплуатационная разведка.

При формулировке задания важно отметить, какой промышленный тип оруденения ожидается, оговорить границы участка проектируемых работ и их масштаб.

3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ

При проектировании оценочных и разведочных работ методические вопросы решаются на основе анализа особенностей структуры участка, формы, размеров и условий залегания тел полезных ископаемых, изменчивости выявленных параметров оруденения (мощности, содержания полезных компонентов).

В соответствии с инструктивными материалами ГКЗ МПР РФ, определяется группа сложности месторождения, перечень основных видов работ, необходимых для решения задач данной стадии, плотность сети наблюдения для разных категорий запасов. Обосновывается система разведки и технические средства, расположение и порядок проходки технических средств.

Описание каждого вида работ завершается расчетом проектных объемов.

3.5.3. Прочие виды работ

Обязательным элементом геологоразведочных работ являются топо-геодезические или маркшейдерские исследования. Рассмотрение этого вопроса начинается с анализа имеющейся топоосновы. Предусматривается инструментальная привязка опорной сети геофизических наблюдений, буровых скважин и горных выработок, базисных линий на участках детализационных работ.

На стадии разведки обязательно должна быть описана методика гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений с определением объемов этих работ.

Обязательным элементом разрабатываемого проекта является рассмотрение экологических вопросов. Необходима оценка влияния геологоразведочных работ на окружающую среду. Это влияние может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, исключении из хозяйственного оборота плодородных земель и т.д. В проекте должны быть предусмотрены мероприятия, предотвращающие или уменьшающие вредное воздействие ГРР на экологию.

3.5.4. Опробование и аналитические работы

С учетом типа оруденения, особенностей вещественного состава, формы, предполагаемой мощности рудных залежей, а также планируемых объемов горноразведочных и буровых работ, предусматриваются необходимые виды опробования – химическое, минералогическое, техническое, технологическое. Обосновываются способы отбора проб, необходимые для решения поставленных задач (штуфное, бороздовое, точечное, керновое и т.д.). Обсуждаются возможности использования геофизических методов опробования. Дается схема обработки проб на отдельно вычерченном листе в текстовой части проекта.

Перечисляются планируемые виды лабораторных работ, определяются их объемы с учетом внутреннего и внешнего контроля (3-5% от общего объема проб). Аналитические исследования в зависимости от типа полезного ископаемого и целевого назначения проекта могут включать следующие виды испытаний проб: химический, минералогический, спектральный, пробирный, атомно-абсорбционный, рентгено-спектральный, рентгено-структурный и др. Для каждого вида аналитических исследований определяются цели и решаемые задачи.

3.5.5. Подсчет проектных запасов и их геолого-экономическая оценка

На стадиях оценочных и разведочных работ одним из завершающих этапов проектирования является оконтуривание тел полезных ископаемых на месторождении, его флангах, глубоких горизонтах с переводом прогнозных ресурсов и запасов в более высокие категории. Для этого необходимо дать характеристику как уже оцененных, так и ожидаемых ресурсов и запасов.

Указываются кондиции, принятые для оконтуривания залежей и выделения подсчетных блоков. Излагается методика подсчета запасов по результатам проектируемых работ. Выбирается и обосновывается способ подсчета запасов в зависимости от особенностей геологического строения месторождения (формы, состава, условий залегания). Излагаются принципы выделения категорий запасов по степени разведанности (плотности разведочной сети) и изученности (выхода керна, вещественного состава руд, технологических, горнотехнических и гидрогеологических условий) для месторождений разных групп по сложности геологического строения. Раскрываются принципы выделения подсчетных блоков и проведение их границ на выходах, флангах и по падению. Характеризуются параметры подсчета запасов, методика их обоснования (площади подсчетных блоков, мощности, среднее содержание, объемная масса). Приводится сводный формуляр подсчета общих ожидаемых запасов по категориям. Контуры категорий запасов, выделенных на основании проектируемых работ, рекомендуется закрасить следующими цветами: категория А – розовый, В – зеленый, C_1 – голубой, C_2 – желтый.

Методика геолого-экономической оценки на разных стадиях геологоразведочного процесса не одинакова.

Основной инструмент геолого-экономической оценки – обоснование кондиций. По материалам завершенных геологоразведочных работ (разведка, доразведка) для определения целесообразности и экономической эффективности освоения месторождения составляют постоянные кондиции.

ГЭО осуществляется поэтапно. На стадии оценочных работ – по укрупненным показателям, без учета налогов, отчислений и платежей, а позднее по результатам разведки – с их учетом.

В условиях рыночных отношений оценку эффективности освоения месторождений, а также сравнение различных инвестиционных проектов и выбор лучшего из них, производят с использованием следующих показателей.

1. Чистый дисконтированный доход, или чистая дисконтированная стоимость, интегральный стоимостной эффект (ЧДД) – это превышение интегральных денежных результатов над соответствующими интегральными затратами или сумму всех доходов от эксплуатации месторождения за весь расчетный период. Освоение месторождения считается эффективным при положительном значении величины чистого дисконтированного дохода. При отрицательном значении ЧДД рассматриваемый вариант инвестиционного проекта должен быть признан убыточным.

2. Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных доходов к величине приведенных инвестиций. В экономически эффективных проектах величина индекса доходности должна быть больше единицы.

3. Внутренняя норма доходности (ВНД), или внутренняя норма прибыли, рентабельность возврата инвестиций. ВНД означает норму дисконта, при которой величина приведенных доходов равна приведенным инвестициям, а чистый дисконтированный доход становится равным нулю. Освоение месторождения считается эффективным и приемлемым, если ВНД>Е, где Е – принятая в расчете норма дисконтирования прибыли.

4. Срок окупаемости капитальных вложений ($Т_о$) с учетом дисконтирования стоимостных показателей определяет временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы равны приведенным инвестициям. Приемлемым считается срок окупаемости инвестиций, равный 5-7 годам. Предельное значение $Т_о$ составляет 10 лет.

Процесс геолого-экономической оценки месторождения завершают выбором оптимального варианта освоения объекта, для которого определены кондиции и показатели экономической эффективности его освоения.

При геолого-экономических расчетах необходимо использовать рекомендуемые учебные пособия кафедры.

3.6. Заключение

В заключение работы приводятся краткие выводы по каждой главе и проекту в целом.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Баранников А. Г., Никулина И. А., Хасанова Г. Г. Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / А. Г. Баранников, И. А. Никулина, Г. Г. Хасанова; Урал. Гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Тзд-во УГГУ, 2018ю – 184 с.

Баранников А. Г., Макарова С. В. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. – 95 с.

Дворник Г. П., Угрюмов А. Н. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и техногенного сырья: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. – 220 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Научные основы поисков и разведки). М.: Недра, 1984. – 285 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Производство геологоразведочных работ). М.: Недра, 1985. – 288 с.

Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Утверждена приказом МПР РФ от 07.03.1997. – 9 с.

Петруха Л. М. Разведка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. – 247 с.

Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М.: ВИЭМС, 1999. – 28 с.

Рудничная геология / В. Ф. Мягков, А. М. Быбочкин, И. И. Бугаев и др. М.: Недра, 1986. – 199 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Образец выполнения титульного листа

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
Уральский государственный горный университет
Факультет геологии и геофизики

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему:

РАЗВЕДКА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ОГАНЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА (КАМЧАТКА)

Руководитель
доц. Никулина И. А.

Студент
Попов С. М.

Группа
РМ-15

Екатеринбург – 2018

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Образец заполнения штампа к чертежам

<table>
<tr><td></td><td colspan="4">Министерство образования и науки РФ
Уральский государственный
горный университет</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Исполнитель:
студент
гр. РМ-15
С. М. Попов</td><td colspan="3">Геологический план
Оганчинского месторождения</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Руководитель:
доцент
И. А. Никулина</td><td colspan="3">К курсовому проекту на тему:
«Разведка глубоких горизонтов
Оганчинского месторождения золота
(Камчатка)»</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>Масштаб
1:1000</td><td>Дата</td><td>Приложение
№ 2</td><td>20</td></tr>
<tr><td></td><td>50</td><td>30</td><td>35</td><td>35</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">150</td><td></td></tr>
</table>

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой геологии,
поисков и разведки месторождений
полезных
ископаемых

_____В.А.Душин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ ДЕЛО

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Тема	Название	Стр.
	Введение	3
1	Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения	5
2	Геологические основы разведки	15
3	Методические основы разведки	40
4	Подсчет запасов полезных ископаемых	69
5	Геолого-экономическая оценка месторождений	88
	Заключение	104

Введение

Геологоразведочные работы являются важнейшим фактором устойчивого развития экономики страны. Сырьевую базу в настоящее время составляют *более ста видов твердых полезных ископаемых.* Усилиями многих поколений российских геологов найдены и введены в промышленное освоение тысячи месторождений полезных ископаемых. На этой основе создана уникальная минерально-сырьевая база страны.

Россия занимает места в *первой пятерке стран мира* по запасам и добыче железных и медных руд, золота, серебра, платиноидов, вольфрама, молибдена, кобальта, никеля. За счет этих руд государство обеспечивает внутренний рынок, эксплуатирует значительные объемы сырья и продукции его переработки. Бюджет государства во многом формируется за счет освоения минерально-сырьевых ресурсов. Экспорт продукции (по данным Федерального агентства по недропользованию РФ) составляет 50-70 % от объема добычи (по вольфраму, кобальту, никелю, меди, золоту, платиноидам. Существенна роль России как мирового производителя и экспортера алмазов, апатита, калийных солей, хризотил-асбеста, бора.

В то же время далеко не благополучным является состояние минерально-сырьевой базы по таким полезным ископаемым, как цинк, свинец, олово, сурьма, барий, графит и др. Внутреннее потребление этих видов сырья определяет необходимость их ввоза из-за рубежа. Многие районы с горнопромышленной направленностью испытывают в настоящее время острый недостаток в добываемом сырье (по железу, меди, свинцу, цинку, золоту). К остродефицитным полезным ископаемым также относятся бокситы, титан, цирконий, бентониты, каолины и др.

Итак, минерально-сырьевой комплекс был и остается *гарантом дальнейшего развития страны* на длительную перспективу, источником получения средств на реконструкцию и техническое перевооружение промышленности. Поэтому подготовка высококвалифицированных кадров в области «разведочного дела» в рамках специализации «Геологическая съемка, поиски и разведка твердых полезных ископаемых» (направления 25.05.02 «Прикладная геология») остается актуальной и востребованной задачей.

Содержание Учебного пособия во многом базируется на обобщении научного и учебно-методического материала, содержащего в учебниках, учебных пособиях, методических рекомендациях, подготовленных в разные годы. В первую очередь, необходимо упомянуть работу В. М. Крейтера (1940) по поискам и разведке месторождений полезных ископаемых, а также труды тех, кто продолжал развивать и углублять сформулированные В. М. Крейтером научные проблемы и направления (работы А. Б. Каждана, Е. О. Погребицкого, В. И. Тернового, Г. С. Поротова, Л. И. Четверикова, П. П. Ясковского, В. В. Шелелева, в том числе сотрудников кафедры поисков и разведки МПИ – В. Ф. Мягкова, А. С. Вершинина, И. И. Бугаева, Л. М. Петрухи, Ю. К. Панова и др.). Из публикаций этих авторов в Учебном пособии заимствована большая часть приведенных в пособии таблиц и иллюстраций.

Современная геологическая наука не может ограничиваться изучением лишь качественных сторон явлений и процессов. Она «должна выявлять их количественные

характеристики, обеспечив тем самым более высокий научный уровень исследования земных недр» (Каждан, Гуськов, 1990). Необходимость внедрения математических методов при решении геологоразведочных задач признается в настоящее время всеми геологами. Их применение обеспечивает возможность перехода от словесных, часто субъективных определений изучаемых объектов, к их более объективным количественным оценкам. Накопленный на кафедре опыт математической обработки собранной геологической информации отражен в 11, 13 и 15 главах пособия. Более подробно вопросы количественной обработки накопленной геологической информации рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Студент должен:

А. знать:

- задачи, принципы, технические средства и системы разведки; классификацию запасов полезных ископаемых; требования промышленности к качеству минерального сырья на стадии разведки;
- методики комплексной оценки минерального сырья;
- подходы к сбору и обработке количественной геологической информации с использованием компьютерных технологий.

Б. уметь:

- составлять проекты на геологоразведочные работы, обосновывать рациональную разведочную сеть;
- оконтуривать запасы разных категорий, выполнять подсчет запасов разными методами;
- выполнять оценку географо-экономических, горнотехнических условий освоения месторождений, технологических свойств минерального сырья.

В. владеть:

- методикой обоснования видов и объемов проектируемых работ;
- приемами определения параметров при подсчете запасов полезных ископаемых;
- методикой определения величины инвестиций, показателей эффективности освоения месторождения в базовом и коммерческом вариантах.

Тема 1
Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЕЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Разведка месторождений – это комплекс работ и связанных с ними исследований, направленных на выявление, оконтуривание и геолого-экономическую оценку запасов минерального сырья в недрах. Разведочные работы вносят определяющий вклад в геологическое изучение минерализованных участков недр на предпроектной стадии промышленного освоения объекта. По завершению разведки и получению положительных результатов геолого-экономической оценки изучаемое проявление полезного ископаемого приобретает *статус месторождения.*

Разведка начинается с момента составления проекта на производство геологоразведочных работ. Обычно эти работы включают: геологическое картирование площади рудного поля и месторождения; выявление и оценку выходов рудных тел; проходку горных выработок и скважин, их документацию и опробование; проведение комплекса геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических исследований; геодезическую съёмку. По результатам геологоразведочных работ составляют геологические разрезы, планы, проекции. Они отражают размеры, условия залегания и строение тел полезных ископаемых. Дается характеристика полезного ископаемого, подсчитываются его запасы. На основе полученных данных проводится геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождения, обосновываются выводы о его промышленном значении. Все сказанное позволяет отметить, что разведка как прикладная геологическая наука находится на стыке областей знаний, включающих: накопленные сведения о геологическом строении месторождения, его сопоставление с определенным геолого-промышленным типом; вопросы горного дела (в связи с обоснованием способа разработки месторождения); определение потенциальной ценности объекта, рентабельности его разработки; обоснованность задействованных технических средств разведки, влияющих на надежность получаемых результатов; обработку полученных результатов с использованных современных компьютерных технологий (рис. 1).

Основной *целью* выполняемых геологоразведочных работ является *получение информации,* необходимой и достаточной для: проектирования предприятия по добыче полезного ископаемого и переработке минерального сырья, реконструкции действующего рудника, определения путей его дальнейшего развития, оценки перспектив выявления новых тел полезных ископаемых на площади рудного поля. Собранная и качественно обработанная информация должна обеспечить *решение основной задачи* разведочных работ – подготовку месторождения к промышленному освоению.

Успешному решению сформированных задач должно способствовать: построение цифровых моделей месторождений с использований IT технологий; реализация разведочных систем, соответствующих природным особенностям объекта и обеспечивающим надежное локальное прогнозирование геолого-промышленных параметров.

Сущность разведки сводится к оконтуриванию, прослеживанию промышленно ценных участков природных скоплений полезного ископаемого путем выборочного пересечения минерализованного объема недр разведочными выработками (скважинами, горными выработками) с последующим геологическим и геофизическим их изучением (документацией) и опробованием. Таким образом, информацию, необходимую для принятия проектных решений по разработке и переработке добываемого минерального сырья, получают на весьма скудном материале. Разведка обычно не позволяет раскрыть все детали строения минерализованных пород. Отчасти эти задачи решаются при использовании геофизических методов (в том числе, зондирования межскважинного пространства), а также на стадии эксплуатационной разведки. Материалы разведки позволяют сконструировать *модель месторождения,* которая по своим параметрам должна быть максимально приближена к истинному объекту (рис. 2). Возможность разработки технических проектов на основе обобщения ограниченной разведочной информации подтверждена практикой разведки и освоения месторождений. Здесь работает известный в математической статистике выборочный метод исследования оцениваемых свойств (в разведке – геолого-промышленных параметров) на основе обобщения данных лишь части свойств, вошедших в изучаемую выборку (Петруха, 2003). На каждой последующей стадии геологоразведочных работ формируемая выборка свойств становится более представительной. На современном этапе изучения недр все недропользователи обязаны выполнить необходимые расчеты по геолого-экономической оценке (ГЭО) обосновываемых запасов и прогнозных ресурсов. Оценка является исследовательским процессом, связанным с выявлением возможных конкурентоспособных вариантов оконтуривания и промышленного освоения запасов месторождения и выбором среди них рационального с позиций максимальной доходности предприятия. Наиболее полная ГЭО осуществляется по результатам разведки месторождения. Оценка по результатам поисков базируется на тех же единых методологических принципах, но из-за ограниченности имеющихся материалов является малодостоверной (Шевелев, 2004).

При проведения ГЭО учитываются следующие положения:

1. Обоснование рационального и комплексного использования недр, включающее основные и попутные компоненты, отходы добычи и переработки сырья.
2. Определение показателей эффективности освоения месторождения (ЧДД – чистый дисконтированный доход, ИД – индекс доходности, ВНД – внутренняя норма доходности, Р – рентабельность разработки, Т – срок окупаемости капвложений).
3. Учет обязательных платежей и налогов, плата за кредит (необходимый для организации работ по разработке месторождения).
4. Учет фактора времени и риска при оценке месторождения.
5. Оценка экологических и социальных последствий разработки месторождения.
6. Выбор оптимального варианта освоения месторождения.
7. Обоснование кондиций на минеральное сырье.

Важнейшие результирующие показатели ГЭО, установленные параметры кондиций, подсчитанные с их использованием балансовые и забалансовые запасы вносятся в Государственный кадастр месторождений полезных ископаемых. При этом необходимо

отражать в кадастре два подхода к оценке объекта – базовый и коммерческий, чтобы при необходимости оперативно осуществлять переоценку месторождения.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИИ СТАНОВЛЕНИЯ УЧЕНИЯ О РАЗВЕДКЕ НЕДР

Учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых пришло из потребностей горного дела. Долгие годы работы по поиску и добыче руд велись на основе опыта многих поколений рудознатцев. Разработки в этой области знаний методического и организационного характера появились значительно позже. Первые труды принадлежат Г. Агриколе (1530), И. А. Шлаттеру (1760), М. В. Ломоносову (1763). Целая эпоха в развитии горного промысла и геологии связана с именем Петра I. Им был организован «Приказ рудокопных дел», реорганизованный в 1719 г. в Берг-коллегию. Коллегия взяла на себя руководство горнозаводской промышленностью Российской империи.

В XIX веке разведка месторождений не проводилась. Открытые месторождения сразу же вовлекались в разработку. Разведочные методы начинают развиваться и совершенствоваться в конце XIX века и позднее. Первыми в этом направлении были работы проф. Войслова (1899), проф. Корзухина (1908), В. С. Реутовского, Б. И. Бокия (1914).

Методологические основы разведки складывались и совершенствовались по мере расширения сырьевой базы страны, развития горнорудной промышленности. Однако в начале XX века разведочное дело ещё не имело самостоятельного развития и рассматривалось как один из разделов учения о полезных ископаемых. Первая работа по экспертизе и оценке рудных месторождений была опубликована Н. И. Трушковым в 1922 г. В 1924 г. в Петроградском горном институте К. П. Марковым прочитан курс разведочного дела. Начиная с 1927 г. этот курс читал И. С. Васильев, впервые изложивший важнейшие методические положения разведки.

Основоположником учения о поисках и разведке полезных ископаемых по праву считается В. М. Крейтер. Им были организованы кафедры поисков и разведки МПИ в Московском геологоразведочном институте и Институте цветных металлов и золота. Его фундаментальный труд «Поиски и разведка полезных ископаемых», изданный в 1940 г., несколько раз переиздавался и стал настольной книгой геологов-разведчиков нескольких поколений.

В 1922 г. кафедра поисков и разведки МПИ была организована в Уральском (Свердловском) горном институте. Её первым заведующим был назначен руководитель геологической службы Урала Б. В. Дидковский. В последующие годы кафедру возглавляли А. П. Смолин, В. П. Любимов, П. И. Кутюхин, М. Н. Альбов, И. И. Бугаев, В. Ф. Мягков, А. Г. Баранников. В 1999 г. произошло объединение ряда кафедр геологического факультета. Объединенную кафедру геологии, поисков и разведки МПИ возглавил проф. В. А. Душин.

Большой вклад в развитие теории и практики разведочного дела, опробования и подсчета запасов полезных ископаемых внесли исследования М. Н. Альбова, Н. В. Барышева, И. Д. Когана, А. П. Прокофьева, В. И. Смирнова, Е. О. Погребицкого, Г. С. Поротова и др. Научные основы геометризации недр заложены исследованиями П. К. Соболевского (1926-1932). Он рассматривал тела полезных ископаемых как совокупность

взаимно связанных геохимических полей и на этой основе сформулировал принципы геометрического моделирования.

В середине XX века во все отрасли геологии, включая вопросы оценки месторождений, проникли математические методы обработки информации. Этому способствовало появление и развитие электронно-вычислительной техники, а позднее – IT технологий. Кроме теории вероятности и математической статистики случайных величин, в теорию и практику исследований стали проникать методы многомерного статистического анализа, теории случайных функций и гармонического анализа, теории множеств, линейной алгебры, распознавания образов и других разделов математики.

При рассмотрении теоретических вопросов методики разведки месторождений и опробования акцент был сделан на изучении изменчивости свойств полезных ископаемых. А. С. Власов, Д. А. Казаковский и др. исследователи предложили использовать первые и вторые последовательные разности значений исследуемых показателей изменчивости по смежным точкам. При обобщении результатов статистической обработки данных П. Л. Каллистов (1956) обратил внимание на то, что любой статистический показатель отражает лишь средний уровень изменчивости изучаемого свойства и не учитывает влияния пространственного расположения точек наблюдений. Им было предложено учитывать случайные и закономерные изменения наблюдаемых признаков. При этом дисперсию случайных отклонений следовало определять не от генеральной средней, а с учетом рассчитанной кривой регрессии, отстраиваемой с использованием процедуры сглаживания совокупности прилегающих к конкретной точке проб. Дальнейшее развитие этот подход при изучении изменчивости свойств залежей получил в работах В. Ф. Мягкова (1984). Он предложил исследовать закономерности распределения компонентов в рудных полях с использованием *геометро-статистической модели*. При отстройке одномерных графиков изменчивости геологических параметров по разным направлениям рудных залежей с использованием интерполяционного полинома удается выявлять уровненное строение геологических полей и на этой основе решать целый ряд практических вопросов разведки: оптимальный шаг опробования; зональность строения залежей, их анизотропию и др.

Начиная с шестидесятых годов XX века, появилось много публикаций по исследованию изменчивости оруденения с использованием *методов теории случайных функций* и *гармонического анализа* (работы А. Б. Каждана, З. Д. Низгурецкого, А. М. Марголина и др.). Изменчивость изучаемых признаков рассматривается как функция расстояния между смежными пунктами наблюдений. При этом необходим учет влияния формы и размера проб, отражающих неоднородность строения недр. В это же время при изучении изменчивости и оценке запасов руд зарубежными геологами (Ж. Матерон, М. Давид, Э. Карлье, Д. Криге и др.) было предложено задействовать *геостатистические модели.* В основе данной модели лежит предположение, что получаемые результаты зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдения результаты измерений меняются, и поэтому их следует рассматривать как случайные величины. Рассчитанный средний квадрат разности измеренных значений при этом зависит от расстояния между пунктами. Важной характеристикой геостатистических

моделей служит вариограмма, отражающая функцию среднего квадрата разности от расстояния между пунктами наблюдений. Для отдельных объектов установлено присутствие нескольких типов вариограмм: с регулярной пространственной переменной, с эффектом самородков, сферической и др. На отстроенных вариограммах возможно определение порогового значения, отражающего зону влияния между соседними пробами.

На современном этапе при обобщении результатов геологоразведочных работ все чаще задействуют геостатистические методы с использованием IT технологий (программы “Micromine”, “Datamine”, “Surpac” и др.).

ОСНОВЫ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ О НЕДРАХ

Основным законом, регламентирующим недропользование в РФ, является Федеральный закон «О недрах», принятый в 1992 г. Закон неоднократно дополнялся и редактировался, его последняя редакция принята в 2015 г. (Закон РФ «О недрах»).

Согласно тексту закона недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже поверхности Земли и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубины, доступной для геологического изучения и освоения.

Основные положения горного права

К основным положениям Горного права относятся:

- право собственности на недра как один из элементов природной среды;
- право собственности на извлеченные из недр полезные ископаемые и используемые полезные свойства недр;
- право собственности на имущество и геологическую информацию, создаваемые в процессе пользования недрами.

Право собственности на недра в России действующими правовыми актами определяется следующим образом:

- недра находятся в государственной собственности;
- владение, пользование и распоряжение недрами в пределах государственной границы находится в совместном ведении Российской Федерации и ее субъектов (так называемое «правило двух ключей»), а за пределами границы (в морской экономической зоне и на континентальном шельфе) – в исключительном ведении Российской Федерации;
- владение, пользование и распоряжение недрами осуществляется в интересах всех народов, проживающих на соответствующей территории, и всех народов Российской Федерации.

Недра предоставляются в пользование субъектам предпринимательской деятельности для изучения, добычи полезных ископаемых, строительства подземных сооружений, организации особо охраняемых геологических объектов или сбора минералогических коллекций на определенный срок или без ограничения срока.

Участки недр с находящимися в них минеральными ресурсами не могут быть предметом купли-продажи, дарения, наследования, вклада, залога или отчуждения в иной форме. Права пользования недрами могут отчуждаться или переходить от одного лица к другому в той мере, в какой их оборот допускается федеральными законами.

Право собственности на минеральное сырье, добытое из недр, появляется в процессе добычи полезных ископаемых. Добытые из недр полезные ископаемые могут находиться в федеральной собственности, собственности субъектов Федерации, муниципальной, частной и иных формах собственности. Вопрос о форме собственности на добытое полезное ископаемое определяется условиями лицензионного соглашения.

Право собственности на горное имущество и геологическую информацию определяется принципом: объект является собственностью того, кто оплатил его создание или приобретение. Однако, геологическая информация, являющаяся собственностью пользователя, должна представляться им по установленной форме в федеральный и территориальный фонды геологической информации (ВГФ, ТГФ). Собственник может лишь оговорить условия конфиденциальности пользования этой информацией в фондах, с учетом собственных интересов.

Система пользования недрами

Недра Российской Федерации могут быть использованы недропользователями для следующих целей.

1. Регионального геологического изучения и иных общих геологических работ без нарушения целостности недр.

2. Геологического изучения, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, а также оценки пригодности недр для строительства подземных сооружений.

3. Разведки и добычи полезных ископаемых, в том числе отходов горных предприятий.

4. Строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых.

5. Образования особо охраняемых геологических объектов.

6. Сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекций. Недра могут предоставляться в пользование одновременно для геологического изучения (поиски, разведка) и добычи полезных ископаемых. В этом случае добыча может производиться как в процессе изучения, так и после его завершения.

Пользование недрами в Российской Федерации, за исключением работ по региональному геологическому изучению и созданию особо охраняемых объектов, является платным.

Недра предоставляются в пользование на определенный срок или без ограничения срока.

Порядок пользования недрами включает три самостоятельных подсистемы:

- предоставление участков недр в пользование;
- пользование недрами в соответствии с установленным видом пользования;
- контроль и надзор за соблюдением установленных требований и ограничений при пользовании недрами.

Предоставление недр в пользование осуществляется на основе лицензирования. Государство, осуществляющее суверенное право на недра, определяет программу освоения недр, участки недр, которые предполагаются предоставить в пользование, и выбор конкретного недропользователя.

Государство определяет условия, на которых предполагается передача недр в пользование. Недропользователь может вести переговоры об изменении этих условий. При достижении согласования, недропользователю оформляется лицензия на право пользования недрами. Лицензия предоставляется совместно органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации и Федеральным органом управления фондом недр.

Работы по *региональному геологическому изучению недр*, выполняемые за счет средств госбюджета, осуществляются без оформления лицензий, но с обязательной регистрацией в территориальных геологических организациях Министерства природных ресурсов. Лицензия на *поиски и оценку* месторождений полезных ископаемых удостоверяет право проведения таких работ только на вид сырья, указанный в лицензии. Лицензия на *добычу* полезного ископаемого может выдаваться на всё месторождение или его часть. Допускается также одновременное предоставление одному пользователю нескольких лицензий на право добычи по группе близко расположенных месторождений, если экономически рентабельной является только совместная их разработка. Лицензия на *разведку* месторождения отдельно не предоставляется и право разведки предусматривается в лицензии на добычу.

Законодательством устанавливается два статуса участков недр, на которые выдается лицензия: геологический отвод и горный отвод. Статус *геологического отвода* предоставляется участкам, предоставляемым для геологического изучения недр без существенного нарушения их целостности. В пределах одного геологического отвода могут быть выданы несколько лицензий на разные виды деятельности, включая, например, поиски и оценку разных полезных ископаемых. В границах геологического отвода могут одновременно проводить работы несколько пользователей недр.

В пределах одного *горного отвода* может быть выдана только одна лицензия одному пользователю, получающему по ней исключительное право деятельности в этих пределах в соответствии с лицензией.

Предоставление недр в пользование осуществляется по результатам конкурсов или аукционов, либо в специальных случаях на основе согласованных решений федеральных органов государственной власти и органов государственной власти субъектов Федерации на бесконкурсной основе. Определение порядка проведения и условий конкурсов и аукционов по каждому объекту или группе объектов осуществляется органами, предоставляющими лицензии. Наименования объектов, выставляемых на конкурсы или аукционы, и их условия публикуются в печати.

Предприниматель, желающий принять участие в конкурсе, подает по установленной форме соответствующую заявку. После официального принятия заявки и уплаты соответствующих взносов заявитель может получить пакет геологической и технико-экономической информации по интересующему его участку недр. Проанализировав эту информацию, заявитель прежде всего решает для себя вопрос о продолжении участия в конкурсе (аукционе) и, при положительном решении, представляет приемлемый для него вариант технико-экономических показателей (ТЭП) ведения работ по намечаемому виду пользования недрами. Указанные ТЭП представляют собой комплекс материалов, обосновывающих принципиальные решения и ожидаемые технико-экономические

показатели по всем вопросам. После приобретения лицензии ее владелец имеет право получения в фондах полного объема геологической информации по предоставленному ему согласно лицензии участку недр (геологическому или горному отводу).

Условия ***пользования недрами*** определяются соглашением собственника недр (государства) в лице его уполномоченных органов и недропользователя. В практике недропользования известны три типа договорных отношений:

- недропользователь вносит плану за пользование недрами и уплачивает другие установленные налоги, но полностью распоряжается всей произведенной продукцией;
- недропользователь и собственник недр заключают соглашение о разделе производимой продукции;
- недропользователь заключает с собственником контракт на предоставление определенных услуг (субподрядные работы).

В первом случае недропользователь осуществляет все работы по реализации предоставленных лицензией прав за счет собственных средств, принимая на себя все риски. Добытая продукция полностью принадлежит ему, хотя условиями договора может определяться реализация части продукции на внутреннем рынке. Недропользователь вносит все установленные платежи, налоги, связанные с его деятельностью. Все сооружения и оборудование, используемые при работах, являются его собственностью.

Во втором случае недропользователь также несет все расходы и принимает на себя риски, связанные с ведением работ, а произведенная продукция делится между ним и собственником (государством) в виде трех частей: компенсационной продукции, предназначенной для возмещения затрат недропользователю, и двух долей прибыльной продукции, разделенных между государством и недропользователем в установленном соотношении. Реализация своих долей продукции осуществляется недропользователем и собственником самостоятельно. Сооружения и оборудование, связанные с недропользованием, переходят в собственность государства либо с момента их создания или приобретения, либо по мере амортизации. Привлекательной стороной соглашения о разделе продукции является иммунитет от новых изменений налогового законодательства, которые не должны ухудшать экономическое положение инвестора, имевшееся на момент составления соглашения.

В третьем случае, недропользователь, также неся все затраты, связанные с проведением работ, либо получает возможность их возмещения при коммерческом результате (например, открытии месторождения при поисках), либо получает заранее оговоренное вознаграждение (оплату) за произведенные работы, но не приобретает никаких прав на добытую продукцию, если таковая будет получена в течение срока действия лицензии или после его истечения.

Контроль и надзор за пользованием недрами осуществляют органы государственного геологического контроля и Федерального горного и промышленного надзора России, а также другие контрольные органы, в соответствии с компетенцией (природоохранные органы, налоговая инспекция, таможенная служба и т. д.) и органы государственной власти.

Государственный геологический контроль включает контроль за геологическим изучением недр и их рациональным использованием и охраной. Органы госконтроля входят в структуру Министерства природных ресурсов и его территориальных подразделений.

Федеральный горный и промышленный надзор России (Госгортехнадзор) выполняет в качестве основной контрольной функции надзор за безопасным ведением работ, включая вопросы проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации горных предприятий.

Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых производится для создания условий комплексного использования недр, определения платы за использование недр и уточнения границ горного отвода. Государственная экспертиза может проводиться на любой стадии геологического изучения недр, но предоставление участков недр для целей добычи разрешается только после их госэкспертизы.

Система платежей при пользовании недрами

Плата за пользование недрами включает разовые и регулярные платежи.

Минимальные (стартовые) разовые платежи за пользование недрами устанавливаются в размере не менее 10 % от величины суммы налога на добычу полезных ископаемых в расчете на среднегодовую проектную мощность добывающей организации. Размеры регулярных платежей определяются в зависимости от экономико-географических условий, размера участка недр, вида полезного ископаемого, продолжительности работ, степени геологической изученности и степени риска. Регулярный платеж взимается за площадь лицензионного участка, предоставленного недропользователю. Ставка регулярного платежа за 1 кв. км участка недр при поисковых и оценочных работах составляет от 27-90 рублей для неметаллических полезных ископаемых до 120-360 рублей для углеводородного сырья; при разведочных работах ставка меняется от 800-1650 рублей для подземных вод до 5000-20000 рублей для углеводородного сырья.

Регулярные платежи не взимаются с недропользователей, осуществляющих:

- пользование недрами для регионального геологического изучения;
- пользование недрами для образования особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение;
- пользование недрами для сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекционных материалов;
- разведку полезных ископаемых на месторождениях, введенных в промышленную эксплуатацию, в границах горного отвода, предоставленного пользователю недр для добычи этих полезных ископаемых.

Кроме разовых и регулярных платежей, законодательством предусмотрены две группы налогов и отчислений. Первая группа учитывается в себестоимости товарной продукции, вторая относится на финансовый результат.

В себестоимость включается налог на добычу полезных ископаемых, дорожный налог, плата за воду, землю, загрязнение окружающей среды и др. Налог на добычу составляет основную часть налоговой суммы первой группы. Ставка налога меняется от 3,8 % для калийных солей до 16,5 % для углеводородного сырья. Налогоплательщики, осуществившие за счет собственных средств поиски и разведку разрабатываемых месторождений или полностью возместившие все расходы на поиски и разведку,

уплачивают налог на добычу с коэффициентом 0,7. При выполнении соглашений о разделе продукции налоговые ставки на добычу применяются с коэффициентом 0,5. Не облагаются налогом полезные ископаемые, остающиеся во вскрышных, вмещающих (разубоживающих) породах, в отвалах или отходах перерабатывающих производств. Дорожный налог взимается в размере 2,5 % от годовой стоимости товарной продукции.

На финансовый результат горного предприятия относят налог на прибыль, налог на имущество, целевые сборы на содержание милиции и благоустройство территории. Налог на прибыль составляет 24 % от годовой прибыли предприятия, налог на имущество – 2 % от его среднегодовой стоимости. Остальные платежи определяются прямыми расчетами.

Горные предприятия также облагаются косвенными налогами, вычисляемыми сверх цены предприятия – налогом на добавленную стоимость (НДС), создаваемую в процессе производства товарной продукции, и таможенными пошлинами, взимаемыми с товарной продукции, вывозимой за пределы Российской Федерации.

Контрольные вопросы к теме 1

1. Что является целью разведки? Какие задачи решает разведка?
2. С какими областями знаний и смежных дисциплин разведка связана?
3. С какими именами известных и выдающихся российских ученых следует связывать становление учения о разведке месторождений?
4. Кто из российских и зарубежных ученых внес значимый вклад в разработку проблем количественной обработки геологической информации (геолого-математического моделирования)?
5. В чем заключаются основные положения законодатедьства РФ о недрах?
6. В каких целях могут быть использованы недра в РФ?
7. Как осуществляется предоставление недр в пользование?
8. Что такое горный и геологический отводы? Чем они различаются?
9. Какие типы договорных отношений установлены между государством и недропользователем?
10. Как осуществляется контроль за пользованием недрами?
11. Какая система платежей установлена за недропользование?

Тема 2
Геологические основы разведки

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОМЫШЛЕННУЮ ЗНАЧИМОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Минеральные скопления в земной коре приобретают статус месторождения по результатам их разведки и при условии обоснования экономической целесообразности промышленного освоения. Основным критерием для промышленного освоения месторождения является размер прибыли, которую предприниматель собирается получить за весь период его эксплуатации.

На экономику промышленного освоения месторождения оказывает влияние совокупность факторов: количество запасов в месторождении (их масштаб), качество минерального сырья, технологические свойства, горно-геологические условия эксплуатации, географо-экономические условия района нахождения месторождения, экологические условия эксплуатации и др. (Каждан, 1977, 1984; Ясковский, 2001, 2010; Шевелев, 2004; Поротов,2004).

Количество запасов в месторождении определяется величиной запасов, оцененных по результатам геологоразведочных работ. Достоверность подсчитанных запасов зависит от степени их изученности (разведанности).

Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в единицах массы (тонн); сыпучих полезных ископаемых (песков, гравия), строительного и облицовочного камня – в единицах объема (кубические метры). Запасы золота измеряются в килограммах, тоннах, а в некоторых зарубежных странах используют тройную унцию (31,103 грамма). Запасы алмазов и драгоценных камней измеряют в каратах (0,200 грамма).

Запасы полезного ископаемого, ценность которого определяется содержанием химического элемента (оксида) или минерала (алмаз, слюда, асбест и др.), оцениваются с определением количества руды и количества металла (минерала). В России запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в недрах, а запасы нефти и газа оцениваются как извлекаемые, так и в недрах.

По величине запасов различают месторождения *уникальные* (их в мире единицы), *крупные* (их десятки), *средние* (их сотни) и *мелкие* (их тысячи). На базе уникальных месторождений создаются ведущие горнодобывающие предприятия. Они во многом определяют состояние минерально-сырьевой базы и сырьевого рынка страны, мира. Крупные месторождения определяют экономику отрасли или крупного региона страны. Средние месторождения имеют значение в пределах отдельных экономических районов, а мелкие – в отдельных случаях. Для каждого вида полезного ископаемого наблюдаются значительные (в десятки раз) изменения запасов при переходе от мелких месторождений к крупным и очень крупным, что обусловлено разнообразием геологических условий образования руд (табл….).

Следует отметить, что отраженные в таблице размеры запасов не являются общепризнанными. В литературных источниках приведены и другие цифры градации запасов, определяющие масштаб оцениваемых объектов. В. И. Краснико (1965) подметил

закономерность, получившую в литературе название «декадной». В 7 % месторождений сосредоточено ~ 65 % запасов, а запасы мелких, средних, крупных и уникальных месторождений отличаются друг от друга примерно на порядок. Мелкие месторождения встречаются часто, а очень крупные редко. Основные запасы сосредоточены в крупных и очень крупных месторождениях. Обобщение данных по России за 1994-1997 гг. свидетельствует, что среди девятнадцати видов полезных ископаемых общее количество мелких объектов составило 723, средних – 184, крупных – 107, очень крупных – 30 (Ясковский, 2001). Распределение суммарных запасов для коренных месторождений страны: на долю мелких объектов приходится 14 %, средних – 30 % и крупных 56 %.

От масштаба месторождений зависят ожидаемые показатели экономической эффективности вовлекаемых в эксплуатацию объектов. С учетом величины запасов можно определить ценность месторождения (потенциальную в недрах или товарную на сырьевом рынке). Полученные значения следует учитывать при определении инвестиционной привлекательности объектов. Другой расчетный экономический показатель – необходимый объем капитальных вложений. Чем больше запасы, тем больше затраты на строительство горнодобывающего предприятия. При этом появляется возможность определить производительность будущего рудника, срок его существования и ориентировочно подсчитать приведенные затраты на освоение месторождения.

Качество минерального сырья – это совокупность природных свойств, определяемых минеральным и химическим составом, структурными и текстурными особенностями сырья, технологическими и физическими свойствами. Высокое качество полезного ископаемого влияет на эффективность переработки руд, способствует улучшению готовой продукции. В геологоразведке и горной промышленности давно используются понятия – «богатые», «бедные», и «убогие» руды. С позиций оценки качества все твердые полезные ископаемые могут быть разделены на *три группы.* Ценность в них может представлять: химический элемент (или химическое соединение, чаще оксид); минерал, обладающий особыми свойствами; вся добываемая горная масса (Шевелев, 2004).

К *первой группе* относятся все руды металлов и горно-химическое сырье (фосфориты, бор, сера). Основным показателем качества сырья является содержание ценного компонента. Содержание оценивается в массовых процентах элемента (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, S, V, As) или оксидов (Cr_2O_3, TiO_2, WO_3, Nb_2O_3, BeO, Be_2O_3, P_2O_5).

В месторождениях комплексных руд (свинцово-цинковых, медно-молибденовых, медно-никелевых и др.) качество определяется с помощью условного содержания главного компонента. В расчетных формулах учитывается: содержание главного компонента, формирующего основную ценность руд; содержание второстепенных компонентов; переводные коэффициенты для перерасчета содержаний второстепенных компонентов в главный компонент.

Содержание в рудах благородных металлов (золота, серебра, платиноидов) из-за низких их концентраций выражается в граммах на тонну руды; в россыпных месторождениях – в г (мг) /$м^3$. Чем большее значение элемента в рудах, тем выше качество полезного ископаемого.

В зависимости от содержания основного ценного компонента руды подразделяются на богатые, рядовые и бедные. Для разных полезных ископаемых конкретные сорта руд отличаются друг от друга (табл.).

При исследовании уровня концентраций полезных компонентов в объеме рудных тел может быть задействован *коэффициент богатства* – отношение среднего содержания к минимально промышленному (Бирюков, Денисов, 1978). Богатыми считаются руды, в которых содержание полезного компонента в 1,5-3,5 раза выше, чем минимальное промышленное; к бедным – менее 1,1-1,2. Какое значение при разведке имеет оконтуривание богатых руд? Во-первых, богатые и очень богатые руды используются при получении концентратов или в металлургии без предварительного обогащения. Во-вторых, высокое качество руд нередко отмечается в локальных участках месторождения. Эти участки называют рудными столбами, кустами, гнездами, карманами, бонанцами (для месторождений золота и серебра). На стадии разведки локальные участки должны быть оконтурены, а подсчет запасов выполнен без ограничения выявленных «ураганных проб».

Ко *второй группе* относятся алмазы, пьезооптическое сырье, слюда, тальк, асбест и др. Качество сырья регламентируется уровнем содержания ценного минерала, размерностью и особенностями кристаллосырья: для асбеста – прочность, гибкость, длина волокна, кислоторастворимость; для слюд – размер пластинок, их ровность, термостойкость; для пьезооптического сырья – масса кристалла, размер бездефектной области моноблока, выход моноблока, степень проявленности дефектов (газово-жидкие включения, трещины, двойники и др.); для алмаза – масса, форма, характер поверхности, цвет, дефектность, наличие сростков (Ясковский, 2001).

К *третьей группе* относятся стройматериалы, твердое топливо, керамическое сырье, огнеупоры, тальк, пирофиллит, минеральные пигменты, цеолиты, бокситы и хромиты. Качество сырья оценивается соответствием его определенных свойств требованиям технических условий (ТУ), отраслевых стандартов (ОСТ), государственных стандартов (ГОСТ) и соглашений с потребителями (Шевелев, 2004). Иногда требуется подразделение сырья на ряд сортов и марок. С учетом целевого использования оцениваемое полезное ископаемое должно удовлетворять конкретным сортовым требованиям.

Итак, количество и качество минерального сырья являются важнейшими факторами оценки разведуемых объектов. Они являются определяющими показателями при геолого-экономической оценке месторождений.

Технологические свойства сырья определяют возможность и экономическую целесообразность переработки минерального сырья с целью получения товарного продукта. Основными показателями, определяющими технологические свойства руд, являются: величина извлечения полезного компонента, содержание полезного компонента в концентрате, выход концентрата.

Технологические свойства минерального сырья зависят от совокупности качественных показателей, из которых кроме содержания полезных ископаемых и вредных примесей первостепенное значение имеют (Каждан, 1977; Шевелев, 2004):

- минеральный состав полезного ископаемого и разубоживающей руды горной массы; распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам;

- форма и размеры полезных минералов, характер их срастаний, текстуры и структуры минеральных агрегатов;
- физические свойства минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, удельная плотность;
- химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Технологические исследования, проводимые в процессе разведки, должны установить возможность извлечения ценных компонентов из руд и обеспечить выбор схемы передела руд, которая может быть использована в промышленных условиях с приемлемыми технико-экономическими показателями. Наличие в сырье попутных компонентов повышает экономическую значимость сырья. Однако ценность попутного компонента всегда следует соотносить с дополнительными расходами на его выделение и учитывать возможность реализации дополнительной продукции.

Рассмотрим примеры, раскрывающие технологические свойства руд и их влияние на переработку минерального сырья (Ясковский, 2001).

Минеральный состав руд определяется присутствием полезных и породообразующих минералов, их количественными соотношениями, формами нахождения, характером парагенетических ассоциаций. Проблемы возникают, когда для выделения основных минералов приходится использовать разные обогатительные процессы. Например: для руд олова основными минералами являются касситерит, станнин, варламовит, гидростаннаты. Эффективно по гравитационной схеме обогащаются касситеритовые руды (плотность 7,0 г/см^3). Другие типы руд с минералами олова (плотность 3,8-4,7 г/см^3) относятся к группе труднообогатимых. Они требуют кроме гравитационного обогащения и других методов: флотации, магнитного и электрического обогащения, пирометаллургии.

Минеральный состав оказывает большое влияние на эффективность флотационного процесса. Хорошо обогащаются сульфиды Pb, Zn, Cu, Mo и плохо – их окисленные формы. Для молибденовых руд основным гипогенным минералом является молибденит – MoS_2, обладающий природными гидрофобными свойствами; но окисленные руды, представленные повеллитом – $CaMoO_4$, ферримолибдитом – $Fe_2O_3{\cdot}3MoO_3{\cdot}8H_2O$ и др., обогащаются с трудом. При этом получаются концентраты невысокого качества из-за легкой шламуемости гипергенных молибденовых минералов в процессе измельчения руды, близости флотационных свойств молибденовых и породообразующих минералов.

Химический состав руд определяется наличием полезных, вредных, петрогенных элементов (оксидов), их содержанием и соотношением, присутствием особенно химически активных форм. Для ряда месторождений схемы и показатели обогащения определяются содержанием элементов и их соотношением. Например, при переработке бокситовых руд для получения глинозема важнейшим является гидрохимический метод Байера. Его использование эффективно для высококачественных руд с кремниевым модулем $M_{si} = Al_2O_3 / SiO_2$ более 5-7. При низком значении M_{si} (высоком содержании SiO_2) руды перерабатываются по более дорогостоящей технологии методом спекания.

При добыче урана методом подземного выщелачивания используют в качестве растворителя кислоты (H_2SO_4). Чем больше карбонатность среды, тем значительней расход

кислоты, сильнее проявляется явление кальматации, тем меньше извлечение урана в продуктивные растворы. Поэтому при существенной карбонатности пород (более 2,0-2,5 % CO_2) извлечение урана с помощью кислоты неэффективно. Нужно переходить на другие схемы.

При характеристике технологических свойств минерального сырья необходим учет *текстурных особенностей руд.* Эти особенности обусловлены размером, формой и характером срастаний минеральных агрегатов. По признаку влияния текстур на процессы переработки минерального сырья их можно подразделить на благоприятные и неблагоприятные. *Благоприятные текстуры* характеризуются крупными размерами скоплений, однородным строением, простыми границами между агрегатами. Для таких руд наиболее эффективны процессы рудоподготовки. Обогащение не вызывает больших затруднений и позволяет получать высококачественные концентраты. *Неблагоприятные для обогащения текстуры* имеют небольшие размеры минеральных скоплений, неоднородное строение агрегатов, сложные и постепенно изменяющиеся границы между ними. Подобные руды требуют сложных, многостадийных процессов рудоподготовки и обогащения.

При изучении технологических свойств полезного ископаемого возможно выделение природных и технологических типов руд. В результате специальных исследований анализируется пространственное распределение этих типов, их геометризация в рамках *геолого-технологического картирования.*

Горно-геологические условия эксплуатации определяют возможность и экономическую целесообразность отработки месторождения с учетом современного состояния горной техники. Каждый выбранный способ разработки месторождения предъявляет свои требования к условиям залегания полезного ископаемого, крепости и устойчивости пород и руд, гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям месторождения.

Среди *способов разработки* месторождений выделяют геотехнологии (Ясковский, 2001): физико-техническая открытая, физико-техническая подземная, физико-химическая скважинная, комбинированная. В процессе эксплуатационных работ из-за неоднородности горно-геологической среды (извилистость границ рудного поля, прерывистости внутреннего строения, изменчивости свойств вмещающих пород) возникают эффекты разубоживания и потерь.

Разубоживание связано с примешиванием пустых пород к извлекаемой рудной массе. В результате засорения среднее содержание в добываемой рудной массе становится ниже, чем содержание в балансовых запасах. Отмеченный процесс характеризуется коэффициентом разубоживания: $Р = (С_н-С_д) / С_н \cdot 100$ %, где $С_н$ – содержание полезного компонента в балансовых рудах, $С_д$ – содержание в добытой рудной массе.

Потери возникают в процессе разработки месторождения потому, что извлечь полезное ископаемое удается не полностью. Часть запасов остается за контуром отработки. Величина потерь оценивается коэффициентом разубоживания: $П = (З_т-З_д) / 100$ %, где $З_т$ – запасы теряемые, $З_д$ – запасы добытые.

Каждый способ разработки имеет достоинства и недостатки. По данным П. П. Ясковского к ним относятся:

- открытая геотехнология – высокая производительность, но небольшие глубины отработки и существенный экономический ущерб;
- подземная геотехнология – отработка на больших глубинах, но значительные потери полезного ископаемого в недрах и тяжелые условия труда;
- скважинная геотехнология – возможность извлечения полезных компонентов в сложных горно-геологических условиях, но необходимы особые предпосылки для создания подвижных флюидов.

Достоинства и недостатки разных способов разработки тесно связаны с определенными горнотехническими условиями. К ним относятся:

а) *Глубина залегания* – один из важнейших горнотехнических показателей, определяющих способ добычи.

При малой глубине залегания применяется открытый способ добычи. Он позволяет развить большую производительность, обеспечить высокую эффективность, низкую себестоимость и более безопасные условия ведения горных работ. Экономическая эффективность добычи определяется коэффициентом вскрыши – отношением объемов (или масс) вскрыши и полезного ископаемого. Предельный коэффициент вскрыши и, соответственно, предельная глубина открытой разработки находится технико-экономическими расчетами. Максимально допустимый коэффициент вскрыши зависит от ценности полезного ископаемого и ориентировочно составляет: для строительных материалов 3 $м^3/м^3$, для углей 6 $м^3/м^3$, для черных металлов 10 $м^3/м^3$, для цветных металлов до 40 $м^3/м^3$. Глубина карьеров открытой добычи не превышает 500 м, но есть проекты глубиной до 700-800 м.

При глубоком залегании полезного ископаемого применяется подземный (шахтный) способ добычи. Он менее производительный и более дорогой по сравнению с открытым способом. Глубина работ колеблется от десятков метров до первых километров. К глубоким относятся шахты, отрабатывающие рудные тела на отметках от 600 (700) до 1000 (1200) м, к весьма глубоким – с глубиной от 1000 (1200) до 2500 м. С глубины 2500 м начинаются сверхглубокие шахты. Они достигнуты при эксплуатации золоторудных месторождений: Морроу-Велью (Бразилия, более 2500 м), Колар (Индия, более 3300 м), Витватерсранд (ЮАР, около 4000 м).

При проходке подземных горных выработок с глубиной увеличивается горное давление (в среднем 2,5 МПа на 100 м) и температура (в среднем 3 ^{0}С на 100 м). При подземной геотехнологии горное давление может проявляться в виде сдвижения, пучения. стреляния пород вплоть до горных ударов. С целью предотвращения горных ударов применяются специальные технологии выемки массива горных пород.

Условия залегания во многом определяют систему разработки месторождений (в первую очередь, подземной). По значению угла падения различают залегания горизонтальные и весьма пологие (0-5^0), пологие (5-25^0), наклонные (25-45^0), весьма крутые (60-90^0). Имеет значение и выдержанность угла падения в пределах блоков добычи

руды. Если угол падения устойчивый, то независимо от его значения ($0\text{-}90^0$) залежь считается выдержанной.

Высокая степень тектонической нарушенности усложняет ведение горных работ. Наибольшие неприятности доставляют малоамплитудные разрывные нарушения, которые не удается надежно выявлять в процессе разведки. Они приводят к повышению потерь и разубоживания руды при добыче, служат причиной неустойчивости и обрушения кровли, прорывов воды и т. д.

Более надежно при разведке выявляются крупные разрывные нарушения с амплитудой в десятки-сотни метров. Они служат естественными границами шахтных полей, участков, блоков добычи.

Мощность залежей является параметром, определяющим технологию добычи. В горном деле выделяются пять классов залежей: 1) тонкие 1,0-1,5 м; 2) средние от 1,0-1,5 до 3-4 м; 3) мощные от 3-4 до 8-10 м; 4) весьма мощные 10-50 м; 5) сверхмощные более 50 м. При изменении класса мощности возможно изменение системы разработки. Поэтому при разведке необходимо выделение геологически однородных блоков (ГОБов), которые заслуживают применения единой технологии добычи. ГОБы при этом приобретают статус технологически однородных блоков (ТОБов).

Кондиционным требованием, предъявляемым к залежам полезных ископаемых, является минимальная промышленная мощность. Она представляет собой минимальную мощность тела полезного ископаемого, при которой его разработка экономически выгодна. Выше этого значения мощность считается рабочей (или кондиционной), ниже – нерабочей (некондиционной). Так как мощность залежей меняется в пространстве, то внутри них могут появляться некондиционные участки или блоки, создавая прерывистость оруденения.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия играют существенную роль при проектировании и ведении горных работ (Поротов, 2004).

Физические свойства (скальные или слабосвязанные грунты), трещиноватость, расслоенность, наличие зон дробления, проявленная анизотропия свойств определяют устойчивость горных пород и руд при добыче сырья, а также размеры эксплуатационных блоков, значение углов откоса бортов карьера и т. д.

Обводненность месторождения определяется насыщенностью горных пород и руд подземными водами и зависит от совокупности факторов. К гидрогеологическим факторам относятся: количество водоносных горизонтов, условия их питания, фильтрационные свойства пород, оценка возможного водопритока в эксплуатационные выработки, состав и агрессивность подземных вод.

Инженерно-геологические факторы включают: проницаемость, набухаемость, размокаемость, коэффициент размягчения и др.

На месторождениях, где развиты карстовые процессы, существенную роль играют глубина и интенсивность развития карста. Выявляются зоны обводнения и поглощения воды, рассматривается возможность обрушения горных пород в зоны карста.

По результатам выполненных исследований должен быть сделан прогноз *экологических последствий* ведения горных работ, решен вопрос о необходимости и объеме природоохранных мероприятий.

Необходимо учитывать, что при ведении горных работ значительную площадь занимают отвалы или отходы горного предприятия. При необходимости следует предусматривать комплекс работ по укреплению отвалов, их рекультивации, очистке рудничных вод от вредных примесей и создании водохранилищ для их накопления. Должны быть оценены последствия осушения окружающей территории вследствие понижения уровня подземных вод.

ФОРМЫ РУДНЫХ ТЕЛ

Форма рудных тел является одним из ведущих факторов, определяющих методику проектируемых разведочных работ.

По своей сути, форма рудных тел определяется соотношением трех параметров: длины по простиранию, длины по падению и мощности.

Обозначим длину по простиранию Дпр, длину по падению Дпад, мощность М. Тогда формы рудных тел при всем своем многообразии могут быть сведены к трем основным группам (рис. 6).

1. *Изометричные*, Дпр ≈ Дпад ≈ М. В эту группу относятся штоки и гнезда.

Штоки – рудные тела средних и мелких размеров, по форме близкие к цилиндру: изометричные или эллипсовидные в плане и столбообразные в разрезе.

Гнезда – небольшие изометричные тела, характерные для камнесамоцветного сырья, редких и благородных металлов.

2. *Плоские*, Дпр ≈ Дпад >> М. К плоским, или плитообразным телам относятся, в первую очередь, пласты и жилы.

Пласты – это согласные плитообразные тела. Залегают согласно, то есть параллельно вмещающим породам. Пласт соответствует осадочному слою. Выделяются также *пластообразные залежи,* которые отличаются от пластов меньшими размерами, а также меньшей выдержанностью.

Жилы – секущие плитообразные тела. Их границы пересекают контакты вмещающих пород. Жилы, как и магматические дайки, –тела выполнения трещин. Жилы могут быть простыми, а также сложными, ветвящимися и т. п.

3. *Линейные*, Дпр >> Дпад ≈ М или Дпад >> Дпр ≈ М. Эта группа объединяет рудные тела, вытянутые в одном направлении. Если преобладающим размером является длина по простиранию, образуются *рудные ленты*, типичные для речных (аллювиальных) россыпей. Если наибольший размер отвечает длине по падению, то рудные тела имеют столбообразную или трубообразную форму. *Рудные столбы и трубы* приурочены обычно к пересечениям разломов или к вулканическим жерлам.

Широким распространением для обозначения формы рудных тел пользуются в геологии термины «штокверк» и «линза».

Штокверк представляет собой минерализованный объем горных пород. Обычно это массивы магматических пород или их части, насыщенные многочисленными разноориентированными прожилками и вкрапленностью рудных минералов. Такие рудные тела не имеют естественных природных границ и оконтуриваются по данным опробования. Обычно штокверки имеют форму, близкую к изометричной. Однако нередко

минерализованные зоны штокверкового типа, приуроченные к разрывным нарушениям (*линейный штокверк*; тогда их форма будет плоской или линейной.

Термин «*линза*» также не имеет однозначного морфологического содержания. Короткую и толстую линзу можно отождествить с гнездом. Плоские линзы соответствуют плоским рудным телам: согласным, если линза расположена параллельно контактам вмещающих пород, и секущим, если линза залегает косо. Наконец, линзы могут вытягиваться в одном направлении, образуя линейные рудные тела.

Кроме того, нередко встречаются рудные тела сложной, или комбинированной формы. Обычно они представляют собой сочетания или комбинации тел, принадлежащих к разным группам. Наиболее распространены крестообразные, грибообразные, седловидные и пр.

ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО СЛОЖНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАЗВЕДКИ

Установление принадлежности изучаемого месторождения к конкретному промышленному типу способствует выбору системы его разведки. Уже на стадии оценочных работ эта задача должна решаться. В то же время месторождения одного и того же промышленного типа нередко характеризуются разными размерами, формой рудных тел, разной сложностью внутреннего строения (минеральным составом, текстурно-структурными особенностями, типами и сортами руд, содержанием полезных и вредных компонентов). Для обоснования системы разведки, технических средств и методических приемов большое значение приобретает *группировка месторождений* по сложности геологического строения для целей разведки, учитывающая накопленный опыт их разведки и разработки (Комплексная …, 1990).

Впервые на необходимость группировки месторождений полезных ископаемых по сложности строения в зависимости от вычисленных значений коэффициентов вариации мощности и содержания полезных компонентов указано в работах В. М. Крейтера, Д. А. Зенкова, Н. В. Барышева, В. И. Красникова и др. В обобщенном виде группировка была предложена В. М. Крейтером в 1940 г. Все месторождения, исходя из учета формы и размеров рудных тел, разделены на пять групп (Крейтер, 1961): 1) пластовые и пластообразные тела, занимающие стратиграфический горизонт (или к нему приуроченные), и россыпи; 2) очень крупные залежи, неправильные тела и минерализованные массивы штокверкового и гнездового распределения, залегающие в разных крепких породах; 3) жило- и линзообразные тела в разных породах; 4) трубчатые и ветвящиеся залежи небольшого масштаба; 5) мелкие гнезда, штокверки, линзы, карманы и трубки в разных породах.

Разработанные В. М. Крейтером принципы группировки месторождений по факторам, определяющим методику их разведки, были положены в основу большинства последующих группировок и учитывались во всех поколениях инструкций ГКЗ СССР по применению классификации запасов. Они нашли отражение и в последнем опубликованном варианте группировок месторождений различных полезных ископаемых для целей разведки (Методические рекомендации…, 2007).

Многими авторами отмечалось, что принятые группировки базируются на качественных признаках, исходя из опыта разведки и разработки объектов. Например, геологическое строение простое, сложное, очень сложное; распределение полезных компонентов равномерное, неравномерное, крайне неравномерное. Поэтому установление группы сложности месторождения, основанное только на качественных критериях, во многих случаях оказывается спорным.

Группировку месторождений (или отдельных тел) полезных ископаемых по сложности геологического строения, основывающуюся на исследовании изменчивости их основных свойств, предложили В. И. Бирюков и М. Н. Денисов (1985). При этом рекомендуется использовать количественные показатели (табл.). Подобный подход отражен в последних вариантах группировки месторождений, предлагаемых ГКЗ в подготовленных Методических рекомендациях (2007). Так, при группировке месторождений железных руд рекомендуется использовать количественные характеристики основных свойств оруденения (табл.). Однако следует отметить, что значения таблиц характеризуют наибольшую степень разведанности месторождения или их частей перед началом эксплуатации. С уменьшением детальности изучения числовые значения признаков могут изменяться: q уменьшается с уменьшением числа наблюдений на прерывистых объектах; K_ρ и V меняются непредсказуемо: то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения. В этом проявляется слабость классификационных числовых признаков. Совершенствование подобных группировок должно основываться на учете особенностей отдельных видов минерального сырья; внедрении геофизических методов исследований, учитывающих контрастность физических свойств рудных тел и вмещающих пород (Шевелев, 2004). Помимо этого, разрабатываемые группировки месторождений должны способствовать рациональному проведению всего геологоразведочного процесса – от проектирования работ до их завершения. Первый тип группировок – морфологический, его следует использовать при проектировании и производстве ранних стадий разведочного процесса. Второй тип, содержащийся в Методических рекомендациях ГКЗ, позволяет относить объект к определенной группе и определять необходимое соотношение разных категорий подсчитываемых запасов с учетом критерия предпринимательского риска.

На практике используется группировка месторождений по сложности геологического строения, предусмотренная Классификацией запасов…(2007). Согласно этому документу необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется в зависимости от сложности геологического строения месторождений. По данному признаку месторождения подразделяются на следующие группы.

1-я группа. Месторождения (участки недр) простого геологического строения с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабо нарушенным залеганием. Характеризуются устойчивой мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *A, B,* C_1 и C_2. Примеры месторождений:

Джезказганское и Коунрадское меднорудные; Талнахское медно-никелевое; Никопольское и Чиатурское марганцевых руд; Лисаковское и Аятское железорудные и др.

2-я группа. Месторождения (участки недр) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, неустойчивыми мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко 2-ой группе также относятся месторождения углей, ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными горно-геологическими условиями разработки. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *B, C_1* и C_2. Примеры месторождений: Гайское, Сибайское, Учалинское меднорудные; Кальинское и Черемуховское бокситов; Гусевогорское и Качканарское титано-магнетитовых руд и др.

3-я группа. Месторождения (участки недр) очень сложного строения со средними и мелкими по размерам телами полезного ископаемого с интенсивно нарушенным залеганием, изменчивыми мощностью и внутренним строением, невыдержанным качеством и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются по категориям C_1 и C_2. Примеры месторождений: Красногвардейское, Октябрьское, Тарньерское медных руд; Мугайское, Аятское бокситов; Садовское, Рубцовское свинцово-цинковых руд; Удерейское сурьмяное; большинство золоторудных месторождений.

4-я группа. Месторождения (участки недр) с мелкими, средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием и резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого, прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются преимущественно по категории C_2. Примеры: месторождения пьезооптического кварца, оптического кальцита; камнесамоцветного сырья; Ховуаксинское кобальтовое; Актайское ртутное; Шахтаминское молибденовых руд, Чорух-Дайронское вольфрамовых руд и др.

Согласно утвержденной Классификации (2007) регламентированное соотношение запасов разных категорий на разведанных месторождениях полезных ископаемых в настоящее время не требуется: это соотношение определяет владелец лицензий самостоятельно с учетом планируемого предпринимательского риска.

По степени изученности месторождения подразделяются на разведанные и оцененные.

К разведанным относятся месторождения (участки недр), запасы которых, качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для технико-экономического обоснования их вовлечения в промышленное освоение в установленном порядке. Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивается возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;
- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, достаточной для проектирования

рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением полезных компонентов (имеющих промышленное значение) и определения направления использования отходов производства или оптимального варианта их складирования или захоронения;

- запасы других совместно залегающих полезных ископаемых (породы вскрыши, подземные воды, отнесенные на основании кондиций к балансовым), изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;
- гидрогеологические и инженерно-геологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранного законодательства и безопасности горных работ;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого, качестве и количестве запасов подтверждены на представительных для месторождения участках детализации;
- подсчетные параметры кондиций установлены на основании ТЭР, позволяющих определить масштаб и промышленную значимость месторождения с необходимой степенью достоверности;
- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду; даны рекомендации по снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий.

К оцененным относятся месторождения, запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены в степени, позволяющей обосновать целесообразность дальнейшей разведки и разработки. По степени изученности они должны удовлетворять следующим требованиям:
- обеспечивается возможность квалификации всех или большей части запасов по категории C_2;
- вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого оценены с полнотой, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное использование полезного ископаемого;
- гидрогеологические, инженерно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждена на участках детализации; подсчетные параметры кондиций установлены на основании укрупненных ТЭР или приняты по аналогии с месторождениями, находящимися в сходных горно-геологических условиях;
- оценено возможное влияние отработки месторождения на окружающую среду.

НЕОДНОРОДНОСТЬ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ НЕДР, ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗУЧЕНИЯ

Исследование неоднородности скоплений полезных ископаемых

При изучении минерализованных участков недр как объектов разведки используется *концепция относительной элементарности.* В соответствие с этой концепцией объект исследования рассматривается в качестве сложной системы, состоящей из множества условно неделимых элементов и объединенных между собой совокупностью условно неделимых связей (Каждан, 1979). Выяснение взаимосвязи и пространственных взаимоотношений элементов неоднородности системы обеспечивает понимание ее структуры.

В изучаемой системе каждый элемент представляет условно неделимую структурную единицу. Однако абсолютно неделимых структурных элементов в действительности нет. Концепция относительной элементарности приводит к представлению о строении материального мира, в том числе, геологических объектов, как об иерархии структурных уровней материи с наличием множества дискретных, условно неделимых структурных единиц в пределах каждого из них.

При детализации наблюдений выявляется неоднородность ранее выделенных условно неделимых структурных элементов и появляется возможность расчленения их на более мелкие единицы. Они характеризуют неоднородность изучаемого объекта уже на более детальном структурном уровне.

При решении геологоразведочных проблем задача сводится к изучению неоднородности природных скоплений полезных ископаемых, их структуры и анизотропии строения как основы для выяснения *изменчивости важнейших свойств полезного ископаемого в недрах.* Познание изменчивости геологических, технологических и горнотехнических свойств определяет обоснование методики разведочных работ, влияет на их последовательность, геолого-экономическую оценку месторождений, эффективность технологии разработки и переработки минерального сырья.

А. Б. Каждан (1974) предлагает при изучении рудоносных территорий выделять шесть последовательных структурных уровней строения минерализованных недр:
- минерализованной зоны (толщи);
- тела полезного ископаемого;
- морфологически обособленного участка тела полезного ископаемого;
- локального обособления участка тела полезного ископаемого (рудного гнезда);
- минерального агрегата;
- минерального зерна или кристалла полезного минерала.

На рис. 7 показана модель одного из флюоритовых месторождений, где отражены разные природно-структурные уровни проявленной минерализации (Каждан, 1977).

Позднее при рассмотрении вопроса о *системном подходе к изучению недр* А. Б. Каждан (1984) предложил задействовать в практике прогнозно-металлогенических исследований развернутую иерархию структурных уровней минерализованных участков недр, включающую большее количество структурно-однородных единиц (от региональных к локальным). Эта систематика призвана обеспечить возможность создания геологических моделей развития рудообразующих процессов при любых масштабах исследования территорий. Выделены следующие уровни строения:
- металлогеническая провинция;

- металлогеническая область;
- рудный район;
- рудный узел;
- рудное поле;
- месторождение полезного ископаемого;
- продуктивная (минерализованная) зона (толща) полезного ископаемого;
- продуктивная залежь (тело) полезного ископаемого;
- морфологически обособленный участок (блок) залежи полезного ископаемого;
- локальное скопление полезного ископаемого (объем селекции или добычи);
- минеральный агрегат, состоящий из зерен полезного минерала;
- зерно, кристалл или обломок полезного минерала.

Отмечено, что количество выделяемых в процессе разведки последовательных уровней может быть изменено в зависимости от целей и задач исследований и от совокупности изучаемых свойств полезного ископаемого.

При обосновании шага опробования, размеров отбираемых проб и расстояний между пунктами наблюдений определяющее значение приобретает исследование соотношений линейных элементов неоднородности (Каждан, 1977; Четвериков, 1984; Шевелев, 2004). Смысл этого утверждения заключается в том, что строение одного и того же природного скопления полезного ископаемого может быть оценено как *однородное* при достаточно больших размерах проб и как *неоднородное* при размерах проб, уменьшенных до определенного предела (рис. 8). При изучении штокверка «длинными» пробами строение штокверка представляется как однородное. Если же уменьшить длину пробы, то строение штокверка следует признать неоднородным.

Учитывая соотношение размеров элементов неоднородности и линейных размеров проб предлагается выделять *три типа неоднородности:*
- неоднородность высшего порядка – линейные размеры элементов неоднородности во много раз меньше линейных размеров проб, а общее их число в каждой пробе очень велико;
- эффективную неоднородность – линейные размеры элементов неоднородности примерно на порядок меньше линейных размеров проб, а их число в объеме пробы сравнительно невелико (последние десятки – первые сотни);
- неоднородность низкого порядка – линейные размеры элементов неоднородности превосходят размеры проб.

Изменчивость свойств полезных ископаемых

Неоднородность природных скоплений полезных ископаемых проявляется в *изменчивости их свойств.* Под изменчивостью понимается непостоянство значений признаков в разных точках пространства. На основе количественных характеристик изменчивости свойств полезных ископаемых решаются основные методические вопросы поисков, разведки, опробования и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых (Каждан, 1977, 1984). Если бы изменчивость себя не проявляла, то одно единственное наблюдение в любой точке (например, разведочное пересечение) давало бы полное и точное представление обо всем изученном объекте.

При дискретной сети наблюдений геологическая неоднородность низшего порядка проявляется как случайная, так и как неслучайная пространственная изменчивость изучаемого свойства, но чаще всего – как сумма обеих составляющих изменчивости.

Для *случайной изменчивости* характерна независимость друг от друга значений признака, наблюдаемого в разных точках залежи (в том числе и смежных). Они не зависят от расстояния между пунктами наблюдений и имеют по всем направлениям характер случайных беспорядочных колебаний (рис. 9 б). Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована методами вариационной статистики случайных величин.

Под неслучайной изменчивостью (закономерной) понимают характеристику закономерностей пространственного размещения изучаемого свойства в некотором объеме недр. Определяющим свойством неслучайной изменчивости является наличие плавных колебаний значений признаки и постоянство знака приращения на протяжении изучаемого отрезка недр. Поскольку закономерная изменчивость связана с пространственным положением пунктов наблюдения, то её называют *координированной* (рис. 9а).

В реальных условиях всегда наблюдается сочетание случайной и закономерной изменчивости в разных пропорциях. В зависимости от их сочетаний предложено выделять три градации изменчивости (Поротов, 2004): простая – преобладает закономерная изменчивость на фоне случайных колебаний; сложная – закономерная и случайная изменчивость присутствуют приблизительно в равных отношениях; весьма сложная – преобладает случайная изменчивость, а закономерная составляющая проявлена лишь в виде тенденции. Составляющая случайной изменчивости оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок. Однако в практике разведки в первую очередь геологов интересует пространственная изменчивость важнейших свойств, которая может быть выражена только ее неслучайной составляющей. Неслучайная изменчивость позволяет оценить характер *анизотропии свойств* полезного ископаемого и выдержанность его строения по разным направлениям в пространстве. Направление, по которому устанавливается максимальная или минимальная скорость изменения изучаемых свойств, носит название *оси анизотропии.*

Анизотропия проявляется в результате упорядоченности пространственного размещения геолого-структурных элементов – зерен, минералов, минеральных агрегатов, располагающихся по слоистости, сланцеватости, зон трещиноватости и т. д. Характеристика анизотропии служит основой для ориентировки сети наблюдений и выбора расстояний между смежными точками по каждому из наблюдаемых направлений.

Мерой анизотропии I служит отношение среднего числа n элементов неоднородности, пересекаемых линиями, проведенными в заданном направлении, к длинам этих линий l в пределах изучаемого объема полезного ископаемого: $I = n / l$ (Каждан, 1984). Наиболее широко распространены скопления полезных ископаемых, имеющих три взаимно ортогональных направления анизотропии: жилы, россыпи, многие пластовые и пластообразные тела и залежи. В них направление максимальной изменчивости свойств совпадает с направлением мощности, а направление минимальной изменчивости – с их

вытянутостью. Промежуточное по значению направление изменчивости совпадает с шириной залежей.

Реже встречаются трубообразные и изометричные линзообразные скопления полезных ископаемых, имеющих два направления анизотропии. В них выделяется круговое сечение, перпендикулярное к длинной или к короткой оси. В плоскости кругового сечения изучаемые свойства близки к изотропным. Второе направление анизотропии совпадает с направлением оси.

Примерами изотропных скоплений полезных ископаемых являются изометрические штокверки цветных и редких металлов.

Таким образом, анизотропия и неоднородность строения природных объектов тесно взаимосвязаны и представляют собой разные формы проявления структуры изучаемых геологических образований. В то же время анизотропия любого порядка может быть выявлена в том случае, если совокупность элементов, создающих анизотропию, укладывается в размеры пробы. Большое значение имеет также учет пространственного расположения пунктов наблюдений. Чем выше природная неоднородность строения и изменчивость полезных ископаемых, тем более локальной должна быть система наблюдений при их разведке и более значительными размеры или объем отбираемых проб.

Природная изменчивость свойств полезных ископаемых представляет явление сложного и многопланового характера. Задача полного количественного описания ее практически не выполнима. Поэтому следует отличать понятие *природной изменчивости* свойств полезных ископаемых от понятия их *наблюдаемой изменчивости* по результатам геологоразведочных работ (Каждан, 1984).

Завершая обзор подходов к изучению изменчивости, приведем высказывание (Шевелев, 2004): «Как бы детально и технически качественно не производилась разведка, создаваемая на ее основе эмпирическая модель разведуемых объектов недр, является приближенным отражением действительности. Если методика разведки выбрана несоответствующей особенностям разведуемого объекта, то никакими формальными приемами и способами последующего анализа и обработки (включая применение математики и ЭВМ) нельзя исправить или уменьшить возникающие ошибки».

Способы изучения изменчивости

Способы анализа выявленной изменчивости разнообразны. Их условно можно объединить в две группы – геологические и математические. В основе каждой группы лежит выбранный тип моделей, используемых для отображения изменчивости параметров объекта.

Геологические способы.

Для отражения геологических представлений изучаемых объектов и наблюдаемых признаков используют разные виды графических (геометрических) моделей (Каждан, 1974, 1984; Поротов, 2004). Эти модели являются плоскостными графическими материалами или объемно-макетными (скульптурного, рельефного, скелетного и др. типов). Примерами плоскостных моделей являются планы в изолиниях (мощности, содержаний, метропроцентов и др.), гипсометрические и погоризонтальные планы, разного вида графики по направлениям, проекции рудных скоплений на вертикальные или

горизонтальные плоскости и т. д. На графических материалах отображаются степень, характер и структура изменчивости параметров месторождения или их совокупность по определенным сочетаниям, площадям. Надежная геологическая обоснованность и наглядность моделей делают их незаменимыми при изучении и прогнозировании изменчивости геологических объектов. Они остаются ведущим способом обоснования системы разведки месторождений. Одной из разновидностей графических моделей являются блок-диаграммы, обеспечивающие наглядное пространственное представление о геологическом строении рудных полей, месторождений, участков (рис. 10).

Геологическое моделирование представляет сложную творческую задачу, допускающую порой несколько разных решений (Поротов, 2004). Причины этого – сложность геологических процессов, которые чаще всего остаются не познанными; дискретность сети наблюдений. Изученные объемы руд и горных пород малы по сравнению с объектами, на которые распространяются результаты наблюдений. Поэтому неизбежно возникают проблемы разработки более достоверных геологических моделей.

Графические модели обеспечивают лишь качественную оценку условий залегания, формы, строения природных скоплений полезных ископаемых и отражают упрощенное представление о характере и пространственной изменчивости свойств. Поэтому математическое обоснование геологических моделей, математический анализ изменчивости геолого-промышленных параметров выбранной модели становится необходимым. Приступить к математическому моделированию можно только создав удовлетворительную геологическую модель объекта. Геологическая модель должна отражать разделение объекта на блоки с разными типами изменчивости, тектонические смещения рудных тел, первичную и вторичную зональность и иные особенности. Игнорирование этих признаков объекта делает последующую математическую оценку изменчивости не корректной.

Математические способы

Математические методы, применяемые для изучения и прогноза изменчивости параметров геологических объектов, многочисленны и разнообразны. Задачей настоящего обзора является: дать общее представление об основных направлениях математического моделирования в рамках рассматриваемой проблемы; кратко охарактеризовать наиболее распространенные математические способы изучения изменчивости; указать области их применения и практическую значимость получаемых результатов (Поротов, 2004).

Вопросы математического моделирования широко освещены в многочисленных научных публикациях и учебной литературе. Эта информация отражена в учебниках и учебных пособиях (Каждан, 1974, 1984, 1990; Погребицкий и др., 1977; Поротов, 2004; Волков, 2006 др.). Более подробно проблемы изучения изменчивости параметров месторождений рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Геометризация и анализ геологических полей», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Считается, что геологические объекты относятся к «плохо организованным природным системам». Они не поддаются точному количественному описанию и, как правило, взаимосвязь между их параметрами не может быть выражена строгими законами.

Приходится создавать модель, дающую лишь приближенное представление о строении объекта и протекавших в объеме залежей рудообразующих процессах. Чем более точные представления будут получены исследователями об изучаемом объекте, тем объективнее будет подобрана соответствующая его особенностям цифровая модель, более надежные и представительные результаты получены при анализе материалов.

На базе геологических моделей созданы разные математические модели. Кратко охарактеризуем лишь некоторых из них:

- статистическая модель;
- геостатистическая модель;
- модели на основе случайной функции;
- разностные модели;
- геометро-статистическая модель.

Статистические модели. Их использование целесообразно, если в наблюдаемой изменчивости признака практически отсутствует закономерная составляющая и, следовательно, геометризация признака в изучаемом объеме недр практически невозможна.

Применение одномерной статистической модели основано на предположении о независимости значений изучаемого признака. В общем случае можно лишь считать, что чем выше степень изменчивости признака, тем полученные результаты ближе к статистической совокупности. Опыт показывает, что формулы математической статистики дают достаточно достоверные результаты при изучении изменчивости месторождений золота, платины, алмазов, редких и отчасти цветных металлов, мусковита и др., но оказываются ненадежными при оценке изменчивости залежей многих осадочных полезных ископаемых.

В практике разведочных работ одномерные статистические модели используются, главным образом, для численной оценки степени изменчивости геолого-промышленных параметров тел полезных ископаемых и месторождений, а также оценки точности полученных результатов. Важнейшими характеристиками таких моделей являются среднее значение изучаемого параметра $x_{ср}$, дисперсия s^2, среднеквадратичное отклонение s и коэффициент вариации V.

Поскольку у реальных геологических объектов обычно проявлено сочетание случайной и закономерной составляющих изменчивости, статистические модели, считающие все изменения случайными, показывают завышенную оценку. Во избежание этого необходимо выделять и исключать закономерную составляющую и рассчитывать коэффициент вариации только по данным выделенной случайной составляющей изменчивости.

При разведке месторождений выборки чаще всего характеризуются небольшими объемами. Поэтому оценку среднего значения оцениваемого параметра можно рассматривать как случайную величину, не соответствующую математическому ожиданию. Последнее и представляет собой истинное среднее значение этого параметра для генеральной совокупности – геологического объекта в целом. Поэтому одной из решаемых задач является выбор лучшего способа вычисления этой оценки и определение степени ее точности.

Статистические оценки могут быть точечными (выражены определенным числом) и интервальными (указывается интервал значений, в пределах которого находится истинное значение величины при заданной вероятности этого события) (Каждан, 1984).

При сравнении изменчивости параметров разной размерности наряду с абсолютной используют относительную величину (коэффициент вариации), обычно выражаемую в процентах:

$$V = (\frac{\sigma}{x_{\text{ср}}}) \cdot 100$$

Использование коэффициента вариации при оценке изменчивости имеет смысл в тех случаях, когда необходимо рассчитать средние значения геолого-промышленных параметров и погрешности их определения. Поэтому статистическая модель обычно применяется для изучения изменчивости содержания компонентов в рудах и мощностей тел полезных ископаемых, но она не эффективна при анализе условий залегания этих тел, их внутреннего строения и изменчивости качества нерудных полезных ископаемых (известняк, доломит, гипс и др.).

Геостатистическая модель. Предложена Ж. Матероном (Матерон, 1968) в шестидесятых годах прошлого столетия. Основана на предположении, что результаты наблюдений зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдений результаты измерений меняются. По этой причине их рассматривают как случайные величины. При этом средний квадрат разности измеренных значений зависит только от расстояния между пунктами наблюдений.

Основной инструмент геостатистики – вариограмма – используется для анализа и описания пространственной корреляционной структуры между произвольно размещенными реальными данными наблюдений. Вариограмма измеряет степень корреляционной связи между пробами в пространстве. Она обычно характеризуется 3-мя главными параметрами (рис. 11).

- *Эффект самородка* – это случайная составляющая дисперсии проб, которая показывает насколько велико различие содержаний в очень близко расположенных образцах. Величина эффекта самородка зависит от сети опробования месторождения и степени ее изменчивости. Название этого параметра введено при оценке месторождений золота, где часто встречаются непредсказуемые «ураганные» содержания металла.
- *Порог вариограммы* – это величина дисперсии проб. Когда вариограмма достигает порога, она часто выполаживается и больше не растет.
- *Зона влияния* – это максимальное расстояние, на котором между пробами еще существует корреляция. На меньших расстояниях (с определенной долей вероятности) можно предсказать содержание в точке массива по данным опробования, а на больших дистанциях – не имеем права. Вариограмма достигает порога на расстоянии, равном зоне влияния. На графике – это расстояние по оси абсцисс от начала координат до точки пересечения теоретической вариограммы с линий порога.

Вариограмма рассчитывается как сумма квадратов разности содержаний между пробами, отстоящими друг от друга на расстоянии h, отнесенная к удвоенному числу пар проб. Функция экспериментальной вариограммы имеет следующий вид:

$$\gamma(h) = \frac{\sum\left(C_i - C_{(i+h)}\right)^2}{2N},$$

где C_i – содержание элемента в точке i,

$C_{(i+h)}$ – содержание элемента в точке, отстоящей на расстояние h от «i» пробы.

Анализ вариограмм необходим для изучения пространственной неоднородности минерализации и расчета исходных параметров для оценки содержаний с помощью кригинга. Выполнение подобных исследований оправдано в тех случаях, когда предполагается наличие на месторождении жильных тел или рудных зон, прослеженных на значительные расстояния, а также если месторождение характеризуется рассеянной минерализацией с неопределенным типом анизотропии. В прикладном плане знание параметров пространственной изменчивости рудной минерализации дает возможность существенно сэкономить средства на разведочные работы, так как наличие вариограмм позволяет уверенно рассчитывать уровень содержаний между буровыми скважинами без дополнительного сгущения буровой сети, а также обосновывать оптимальную густоту разведочной сети. Выявленные закономерности распределения полезных компонентов в пространстве позволяют более надежно интерполировать значения содержаний, оценивать достоверность запасов.

Расстояние, на котором достигается порог (зона влияния), может меняться в зависимости от направления, вдоль которого оценивалась вариограмма. Например, в случае пластовой залежи изменчивость содержаний по простиранию пласта будет меньше, нежели вкрест простирания. Этот феномен называется геометрической (или дирекционной) анизотропией минерализации (Поротов, 2004). В случае если в разных направлениях вариограммы имеют разный порог, анизотропия называется зональной.

При моделировании вариограммы необходимо выбрать соответствующий тип модели. Существуют следующие основные типы вариограммы: линейная, общая линейная (линейные графики), сферическая, экспоненциальная, гауссова, с дырочным эффектом (криволинейные графики). Чаще всего используют сферическую или экспоненциальную модели (рис. 12).

Исследование пространственной изменчивости содержаний полезного компонента с помощью геостатистической модели проведено на одном из золоторудных месторождений Казахстана. Работа выполнена студентом-дипломником М. А. Дресвянниковым (2017). При обобщении материала за основу взята концепция, что традиционными рудоконтролирующими для золотого оруденения считаются структуры северо-восточного направления. Поэтому все первичные геохимические ореолы привязывались к ним, в том числе и ореолы золота.

Для анализа пространственного распределения золота с помощью программы LeapFrogGeo построены 3D модели, отражающие пространственное распределение содержаний золота. В результате на месторождении выделено 6 зон по преобладающему направлению простирания минерализованных зон (рис. 13).

По каждой выделенной зоне рассчитывались экспериментальные вариограммы. Для более наглядного представления построены поверхности вариограмм, представляющие собой розы-диаграммы, на которых в зависимости от направления и расстояния вынесены

значения функции вариограммы (γ). На рис.14-16 интенсивность закраски отражает изменение значений дисперсии, приведенные к шкале; стрелками показаны направления минимальной изменчивости золота. В первой зоне (рис. 13) северо-восточное направление минимальной изменчивости соответствует вытянутости рудоносной зоны. Зона 2, находящаяся в центральной части месторождения, уже имеет изотропное строение (рис. 15), которое может быть объяснено пересечением двух преобладающих на месторождении направлений распространения золоторудной минерализации (северо-западного и северо-восточного). В третьей зоне (рис. 16) направление изменчивости изменяется на противоположное, характерное для дисперсии первого участка. В целом, горизонтальные вариограммы подтверждают данные, полученные при моделировании рудной зоны. Зоны 1, 4 и 5 имеют минимальные значения дисперсии в северо-восточном направлении, зоны 3 и 6 – северо-западное, 2-ая зона – изотропна по значениям изменчивости.

Выявление в результате геостатистического моделирования «нового» структурного направления (северо-западного) (рис. 16) позволило запроектировать золотодобывающей компании в этой зоне продолжение геологоразведочных работ (в рамках доразведки северо-западного фланга месторождения).

Модели на основе случайных функций могут быть использованы для количественного описания изменчивости признака (пространственной переменной) в зависимости от местоположения пунктов наблюдений. В основе модели лежит гипотеза, что значение признака является случайной функцией координат.

$$\varphi(x) = m(x) + \delta(x).$$

Случайная функция состоит из двух частей: закономерной $m(x)$ и случайной $\delta(x)$ составляющих (рис. 17).

Закономерную часть называют математическим ожиданием случайной функции. Значения случайной функции, получаемые в результате эксперимента и заранее неизвестные, называются ее реализацией. Основными характеристиками случайной функции $j(x)$ являются ее математическое ожидание, дисперсия случайной составляющей, автоковариационная и автокорреляционная функции.

Математическое ожидание $m(x)$ представляет собой наиболее вероятное значение случайной функции в точках x. Дисперсия случайной составляющей D выражается формулой:

$$D = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\delta(x_i)$$

Автоковариационная функция $K(h)$ представляет собой среднее произведение соседних отклонений на расстоянии h:

$$K(h) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[\delta(x_i + h)\delta(x_i)]^2 ,$$

где n – количество наблюдений; m – количество пар соседних отклонений.

Автокорреляционная функция $r(h)$ представляет собой отношение автоковариационной функции к дисперсии:

$$r(h) = K(h)/D.$$

Сложность применения случайных функций состоит в том, что результаты геологических наблюдений представляют собой, как правило, лишь одну ее реализацию. Характеристики случайной функции можно найти либо тогда, когда она является стационарной и эргодичной, либо при введении дополнительных гипотез.

Стационарной называют случайную функцию, у которой характеристики не меняются при сдвиге сети наблюдений. Она имеет постоянные математическое ожидание и дисперсию, а корреляционная функция ее зависит лишь от расстояния h между соседними пунктами наблюдения, т. е. по существу является функцией одного аргумента. *Эргодичной* именуют стационарную случайную функцию, одна реализация которой на большом интервале эквивалентна большому числу реализаций на малом интервале.

Модель на основе стационарной случайной функции предполагает, что математическое ожидание – величина постоянная, т. е. закономерные изменения признака в пространстве отсутствуют. Тогда математическое ожидание (оценка математического ожидания) равно среднему значению признака: $m(x) = j_{ср}$, а случайные отклонения находят по формуле $d(x) = j(x) – j_{ср}$. Дисперсия, автоковариационная и автокорреляционная функции вычисляются по формулам, приведенным выше.

Из перечисленных характеристик наибольший интерес представляет *автокорреляционная функция* $r(h)$, которая показывает степень связи соседних значений признака в зависимости от шага наблюдений h. При $h = 0$ корреляционная функция $r = 1$; с увеличением шага наблюдений значение r убывает и стремится к нулю. Предельный шаг наблюдений, при котором коэффициент автокорреляции становится неотличимым от нуля, называется радиусом автокорреляции R. Он соответствует максимальному расстоянию, на котором еще обнаруживается взаимосвязь соседних наблюдений (рис. 18).

На практике автокорреляционная функция вычисляется по дискретным данным и изображается ломаной линией. За радиус автокорреляции обычно принимают тот шаг, при котором линия автокорреляции первый раз пересекает линию абсцисс.

Автокорреляционная функция зависит от направлений изучения изменчивости параметров и поэтому дает представление об анизотропии залежей. Чем больше радиус автокорреляции в заданном направлении, тем медленнее меняется значение параметра и меньше его изменчивость. Если значение радиуса автокорреляции одинаково по всем направлениям, то геологический объект является изотропным.

Радиус автокорреляции характеризует средний размер области влияния одного наблюдения, что используется при обосновании плотности разведочной сети. Для надежного установления поведения параметра между пунктами наблюдений необходимо, чтобы расстояние между ними не превышало двух радиусов, т. е. области влияния соседних наблюдений перекрывались.

Отметим, что характеристики стационарной случайной функции отражают достоверную картину лишь при отсутствии периодичности в изменении признаков. Они должны быть согласованы с периодами, сопоставимыми с размерами изучаемого объекта. В противном случае (ритмичность разреза, периодичность появления рудных столбов или разрывных нарушений и т. д.) требуется выявление периодов и амплитуд периодической

изменчивости и вычитание ее из реализации случайной функции, чтобы значения параметра привести к стационарному виду.

Различия между геостатистической моделью и моделями типа случайных функций заключается в том, что предметом изучения геостатистики служит исследование расхождений между оцениваемой величиной Q и ее оценкой q. Сама пространственная переменная рассматривается как детерминированная функция, а вероятностный подход проявляется только при оценке расхождения $\varepsilon = Q - q$.

При использовании моделей типа случайных функций предметом исследования являются природные скопления полезных ископаемых и их свойства в недрах, а в качестве случайных величин рассматриваются не дисперсии оценок, а значения всех наблюдаемых свойств. В строении полезных ископаемых выявляются элементы их неоднородности, а характеристики изменчивости изучаемых свойств оцениваются не в заведомо заданных объемах недр, а на том структурном уровне, который выявляется принятой сетью наблюдений.

Разностные модели изменчивости основаны на изучении приращений значений признака между соседними точками наблюдения и имеют целью исключение влияния закономерной составляющей изменчивости для более правильной характеристики случайной изменчивости.

Модель со вторыми разностями впервые предложена Д. А. Казаковским (Казаковский, 1948) и нашла широкое практическое применение. Метод Д. А. Казаковского разработан для правильных квадратных сетей и позволяет оценивать изменчивость геолого-промышленных параметров, которые могут быть изображены в виде топографических поверхностей, главным образом для изучения изменчивости мощности тел полезных ископаемых. Сначала вычисляют первые разности значений признака по соседним точкам:

$$\Delta'_t = \varphi_{i+1} - \varphi_i$$

а затем находят вторые разности как приращения соседних первых разностей:

$$\Delta'_t = \Delta'_{i+1} - \Delta' = \varphi_{i+1} + \varphi_{i+2} \ .$$

Абсолютной мерой изменчивости является показатель сложности топографической поверхности μ_a, который представляет собой среднее значение абсолютной величины вторых разностей:

$$\mu_a = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} |\Delta_t^m| \ ,$$

где k – количество вторых разностей.

Относительная изменчивость признака оценивается с помощью показателя изменчивости m, который представляет собой выраженное в долях единицы отношение показателя сложности поверхности m к среднему значению изучаемого параметра $j_{ср}$.

Геометро-статистическая модель. Основоположником горно-геометрического моделирования является П. К. Соболевский. В основе созданной им модели лежит представление о функциональных связях наблюдаемых свойств с пространственными координатами. Позже его идеи нашли отражение в геометро-статистической модели, разработанной В. Ф. Мягковым (Мягков и др., 1986).

Частные значения характеристик реального поля в точках пространства неоднородны по своему составу. Они представляют собой алгебраическую сумму двух величин, называемых регулярной и случайной составляющими (компонентами) поля $U_i = f(x_i) + \delta_i$ (одномерный вариант), где *Ui* – значение переменной в *i*-той точке пространства с координатами x_i; $f(x_i)$ – значение регулярной (или закономерной) составляющей; δ_i – значение случайной составляющей (рис. 19).

Регулярной (или закономерной) составляющей поля называется детерминированная компонента, фиксирующая направленность изменения изучаемого свойства в пространстве геологического объекта. Например, закономерность выклинивания линзообразного рудного тела от центра к периферии залежи.

Случайной компонентной поля называется составляющая, обусловливающая флуктуацию ее значений относительно детерминированной переменной. Ее наличие определяется влиянием как геологических, так и технологических факторов. Например, флуктуация мощности относительно генеральной тенденции к выклиниванию линзовидного тела от центра к периферии в случае экзогенного месторождения обусловлена не только неровностями дна бассейна седиментации, но и погрешностями принятого способа измерений.

Количественное описание наблюдаемой изменчивости поля заключается в разделении ее на две составляющие, определении амплитуды каждой из них и уровней изменчивости. Закономерная изменчивость определяется построением аппроксимирующей функции, получаемой аппроксимацией исходных значений параметра, а случайная изменчивость оценивается среднеквадратичным отклонением исходных наблюдений от графика аппроксимирующей функции.

Построение начальной аппроксимирующей поле функции на каждом одномерном сечении осуществляется по данным регуляризации измерений в соответствии с формулой, выведенной при условии четырехкратного последовательного сглаживания по двум точкам (Мягков, 1984):

$$U_j = 0{,}0625\,(U_i + 4U_{i+1} + 6U_{i+2} + 4\,U_{i+3} + U_{i+4}),$$

где U_j – значение регулярной составляющей поля, U_i – частные значения, полученные в результате измерений или опробования по совокупности пространственно сближенных точек. При этом координаты x_j определяются либо по аналогичной приведенной зависимости (вместо U_i в формулу подставляются значения x_i), либо по упрощенной формуле:

$x_j = x_i + (j + 1) + \Delta x$, если шаг наблюдений принят в качестве постоянной величины ($j = i$+2...).

С помощью геометро-статистической модели можно выразить основные особенности пространственной изменчивости свойств геологических объектов, установить примерные числовые значения изучаемого свойства в любой точке исследуемого объекта, получить представление о его морфологии и внутреннем строении. В то же время геометро-статистические модели не обеспечивают объективную количественную оценку изменчивости изучаемых свойств. Если статистические методы не учитывают влияния

плавных, закономерных изменений, то методы геометризации игнорируют влияние многочисленных случайных отклонений по отдельным пунктам наблюдений.

Контрольные вопросы к теме 2

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте факторы, определяющие промышленную значимость месторождений.
2. Как делятся месторождения по масштабу, качеству полезных ископаемых?
3. На что влияют глубина и условия залегания тел полезных ископаемых?
4. Зачем необходимо изучать инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений?
5. Как можно подразделить месторождения по форме залежей? Как влияет форма рудных тел на разведку и разработку месторождений?
6. Какие факторы положены в основу группировки месторождений для целей разведки?
7. Какие группы месторождений фигурируют в Методических указаниях ГКЗ? Как их учитывают при разведке?
8. Неоднородность строения минерализованных недр. Как она учитывается при разведке?
9. Изменчивость свойств полезных ископаемых, виды ее проявления.
10. Какие геологические способы изучения изменчивости известны?
11. Какие математические способы исследования изменчивости используют в последнее время при разведке месторождений?
12. Какие основные характеристики фигурируют при использовании геостатистической модели изменчивости?

Тема 3
Методологические основы разведки недр

ПРИНЦИПЫ РАЗВЕДКИ НЕДР

Земные недра обычно недоступны для непосредственных наблюдений. Они познаются преимущественно выборочным методом по сети пространственно разобщенных искусственных или естественных обнажений (Каждан, 1984). При этом полнота и достоверность полученных представлений о строении и составе недр зависит от густоты сети наблюдений, характера и степени неоднородности изучаемых объектов, прерывистости изучаемых свойств. Это побудило исследователей (Крейтер В. М., Каждан А. Б., Четвериков Л. И. и др.) сформулировать принципы, определяющие методологические подходы к изучению и оценке недр.

Принцип последовательных приближений предусматривает необходимость соблюдения правила: «от общего к частному». Геологические исследования начинаются с выявления крупных потенциально рудоносных площадей и отбраковки заведомо неперспективных территорий. После этого целесообразно перейти к более детальному изучению потенциально рудоносных площадей с последовательной ее разбраковкой на перспективные и неперспективные участки. В рамках реализации принципа весь геологоразведочный процесс подразделяется на три этапа и пять стадий (см. главу 5). Предложенная стадийность отражает рациональную последовательность проведения геологоразведочных работ, когда изучение недр проводится с возрастающей детальностью. Сначала выделяются общие геологические закономерности, а затем исследуются детали строения. По мере накопления разведочных данных возрастает полнота и надежность оценки объекта. Появляется возможность пространственного обособления внутри ранее выделенных условно однородных элементов геологического строения ещё более мелких структурных элементов. Вследствие ограниченности выборочных данных для суждения о свойствах и степени изученности объекта необходимо привлечение дополнительной информации, которую можно получить по принципу аналогии.

Принцип аналогии основан на положении о том, что геологические структуры и заключенные в них полезные ископаемые формировались в близких условиях. Они обладают чертами сходства условий залегания, строения и состава. Именно это обстоятельство обеспечивает подобие свойств объекта-эталона и изучаемого объекта. Степень подобия минерализованных участков недр зависит от пространственной близости и масштабов сравниваемых объектов: чем меньше их размеры и меньше расстояния между ними, тем больше проявляется сходство.

На стадии разведки можно выделить два подхода при принятии решений по аналогии: а) внутриобъектная; б) межобъектная. *Первый подход* – параметры разведочной сети принимаются близкими к изученным (и даже уже освоенным) участкам недр. Подобный подход возможен при разведке (доразведке) глубоких горизонтов месторождения, его флангов. *Второй подход* – использование данных по другим детально изученным объектам, используется при обосновании параметров разведочной сети на вновь вовлекаемых в разведку месторождениях. Этот принцип, основанный на типизации

месторождений, изложен в «Методических указаниях…», подготовленных ГКЗ при МПР РФ для отдельных типов полезных ископаемых.

Принцип максимальной эффективности является объединяющим ранее сформулированные В. М. Крейтером принципы наименьших трудовых и материальных затрат и полноты исследования (Петруха, 2003). Сущность принципа заключается в том, что в каждый момент выполнения геологоразведочных работ затраты на получение дополнительной информации не должны превышать экономических потерь, вызванных возможными просчетами в работе будущего предприятия. Полнота информации, необходимой и достаточной для строительства горнодобывающего предприятия, определяет подготовленность месторождения для промышленного освоения. Эта информация должна обеспечить достоверную характеристику разведуемого месторождения.

Достижение полноты необходимой информации осложнено крайне ограниченным объемом получаемых геологоразведочных данных по сети редких разведочных пересечений. В то же время собранная информация должна быть достаточной для принятия проектных решений по разработке месторождения и переработке добываемого минерального сырья. Здесь работает известный в математической статистике метод изучения свойств объектов на основе ограниченной по объему выборки. На каждой последовательно сменяющейся стадии изучения объекта выборка становится более представительной. В то же время из-за ограниченности геологических наблюдений, их неполноты любое проектное решение по освоению месторождения сопровождается риском, обусловленным возможными просчетами из-за неполноты собранных данных. Задача разведки – минимизировать эти риски до экономически рациональных размеров. Это возможно за счет выборочной детализации сети наблюдений на отдельных локальных участках.

Принцип выборочной детализации заключается в том, что проведение геологоразведочных работ в пределах всего объекта изучения должно сочетаться с более детальными работами на отдельных его участках (Каждан, 1984). При этом необходимо определиться с позицией эталонного участка, определить оптимальную детальность наблюдений в его пределах. Эталоны-аналоги детализационных работ должны быть представительными по отношению ко всему изучаемому объему недр. Чем типичнее окажутся эти участки, тем полнее будут критерии подобия и меньше погрешности распространения эталонных данных на весь оцениваемый объем. Рассмотрим примеры.

Согласно «Методическим рекомендациям по применению классификации запасов… (2007)» детализационные работы на стадии оценочных работ должны предусматривать обоснование в пределах локальных участков запасов категории C_1. С учетом полученных данных на этих участках следует предусмотреть опытно-промышленную разработку (ОПР) минерального сырья. В условиях действующих горных предприятий в качестве эталонов-аналогов следует использовать уже отработанные участки месторождения.

СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Изучение недр с целью выявления и промышленной оценки месторождений полезных ископаемых осуществляется последовательно по стадиям, по мере отбраковки неперспективных площадей и более детальном исследовании заслуживающих внимания объектов. Стадийность охватывает все виды геологоразведочных работ и отражает рациональный порядок последовательности их проведения (Положение…, 1999). Выделяется три этапа и пять стадий геологоразведочных работ (табл. 1). Составители «Положения…» отмечают, что границы между стадиями условны и определяются масштабами ведущихся работ. Информация, получаемая на каждой стадии, по полноте и достоверности должна быть достаточной для геологического и технико-экономического обоснования геологоразведочных работ последующей стадии, либо освоения и проектирования разработки месторождения. «Положение…» носит рекомендательный характер и устанавливает общие для всех видов полезных ископаемых требования к содержанию и результатам геологоразведочных работ для отдельных стадий.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых

Производится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей основу геологического изучения территории и оценки ее минерагенического потенциала. Призвано обеспечить выявление закономерностей формирования и размещения полезных ископаемых. Основным результатом регионального геологического изучения недр является моделирование и ранжирование по экономической значимости структурно-вещественных и минерагенических комплексов, локальный прогноз и начальная геолого-экономическая оценка потенциальных объектов минерального сырья. Основными видами работ являются площадные геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические съемки, наземные и аэрогеофизические работы, широкий комплекс специализированных исследований: космоструктурные, геолого-минерагенические, геохимическое картирование и другие виды изучения недр. Площадные картографические работы проводятся в масштабах: 1:15000000 и мельче – сводное и обзорное; 1:1000000 (1:500000) – мелкомасштабное; 1:200000 (1:100000) – среднемасштабное; 1:50000 (1:25000) – крупномасштабное. Для развития минерально-сырьевой базы главное значение имеют средне-крупномасштабные виды картографирования. По результатам выполненных работ выявляются и оконтуриваются прогнозные площади (минерагенические зоны, рудные районы, узлы и поля) с оценкой прогнозных ресурсов по категориям P_3, P_2, (P_1).

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Стадия 2. Поисковые работы

Объектами исследований являются рудные районы, узлы и поля или их части, выявленные в процессе предшествующей стадии регионального геологического изучения недр, по которым имеются оцененные прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_3. Работы могут производиться и на ранее опоискованных площадях, если это обусловлено изменением представлений о геологическом строении перспективных площадей, изменением

конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследования недр. Поиски могут проводиться в разных масштабах (обычно в пределах 1:50000-1:10000). Включают комплекс геолого-минерагенических, геофизических, геохимических и других видов и методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных объектов используется глубокое бурение в сочетании со скважинными геофизическими исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий проведения работ, накопленного в отрасли опыта. По совокупности полученной информации, ее комплексной интерпретации выделяются перспективные аномалии, участки. Проверка природы аномалий, вскрытие, опробование и изучение проявлений полезных ископаемых осуществляется поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. В отобранных пробах определяются основные и попутные компоненты, а в необходимых случаях – технологические свойства руд. На выявленных проявлениях полезных ископаемых оцениваются прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1. На основе полученных данных выполняется геолого-экономическая оценка выявленных объектов по укрупненным показателям. Положительно оцененные проявления включаются в фонд объектов, рекомендуемых к постановке оценочных работ с выдачей соответствующих лицензий.

Стадия 3. Оценочные работы

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади, изучения геолого-структурных условий локализации оруденения проводится геологическая съемка в масштабе 1:25000-1:10000 и крупнее (для сложных и небольших объектов). Геологическая съемка сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями, вскрытием и прослеживанием тел полезных ископаемых поверхностными горными выработками (канавы, шурфы, картировочные скважины). Все вскрытые выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты.

Технологические свойства полезного ископаемого определяются по лабораторным пробам, а в необходимых случаях – по малым и большим технологическим пробам. По этим результатам намечается принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого.

Во всех разведочных выработках осуществляется комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических исследований, достаточных для обоснования вскрытия и разработки месторождения. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду.

Материалы, полученные при производстве оценочных работ, должны обеспечить оценку промышленного значения месторождения с подсчетом большей части запасов по категории C_2. По менее детально изученной части месторождения количественно оцениваются прогнозные ресурсы категории P_1. Достоверность данных о геологическом строении, условиям залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов категории C_1.

В соответствии с рекомендациями, содержащимися в Методических рекомендациях по применению классификации запасов… (2007), на завершающем этапе оценки целесообразно выполнение на участках детализации отдельных месторождений специализированных работ – «Опытно промышленной разработки» (ОПР) в пределах локального объема минерализованных недр.

Геолого-экономическая оценка объектов осуществляется в процессе проведения работ и по их завершению. В начальный период оценочных работ проводится *оперативная геолого-экономическая оценка* прямым расчетом по укрупненным показателям. По результатам ее принимаются решения о целесообразности продолжения работ или их прекращении. После завершения стадии «Оценочные работы» разрабатываются *временные кондиции* и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная оценка промышленной ценности месторождения, определяющая целесообразность передачи объекта в разведку с последующим его освоением. *Месторождения,* получившие положительную экономическую оценку на оценочной стадии, *называются оцененными*.

Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование «временных» кондиций и ТЭД, представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизу. Заключение экспертизы является основанием для постановки запасов на государственный учет.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Стадия 4. Разведка месторождений

Объектом разведки является закрепленная лицензией в виде горного отвода часть недр, включающая полностью или частично месторождение полезного ископаемого. Разведочные работы осуществляются с целью получения информации для проектирования строительства горнодобывающего предприятия. В «Положении…(1999)» отмечается, что в *процессе освоения месторождения* с целью расширения и укрепления минерально-сырьевой базы действующего или реконструированного горного предприятия возможно проведение *доразведки месторождения.* Эти работы предусматривают в каждом отдельном случае решение конкретных геологических задач. Например, дополнительное изучение флангов или глубоких горизонтов месторождения, уточнение технологических свойств полезного ископаемого и т. д.

При разведке завершается изучение строения месторождения с поверхности с составлением геологической карты на инструментальной основе. В зависимости от размеров, сложности геологического строения, изменчивости тел полезных ископаемых съемка проводится в масштабе 1:10000-1:1000 с применением геохимических, геофизических методов, проходкой горных выработок (канавы, шурфы, траншеи), мелких скважин. Все выходы полезных ископаемых прослеживаются, опробуются с детальностью, позволяющей выявить форму, строение, условия залегания, интенсивность и глубину проявления зоны окисления.

Разведка на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. Расположение горных

выработок (в случае отработки объекта подземным способом) должно обеспечить максимально возможное их дальнейшее использование при эксплуатации.

Последовательность и объемы разведочных работ, соотношение горных и буровых выработок, форма и плотность разведочной сети, методы и способы отбора проб (рядовых, групповых, технологических) определяются, исходя из геологических особенностей разведуемого месторождения. Вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучаются с детальностью, достаточной для проектирования рациональной технологии их переработки.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, горно-геологические условия изучаются с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для составления проекта разработки месторождения. В процессе разведки дается оценка возможных источников питьевого и технического водоснабжения, проводятся работы по выявлению местных строительных материалов, разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения, обеспечиваются природоохранные мероприятия.

Разведка завершается разработкой технико-экономического обоснования (ТЭО) *постоянных разведочных кондиций*. Производится подсчет запасов основных и попутных компонентов по категориям в соответствии с группой месторождений по сложности строения, дается детальная экономическая оценка промышленной ценности месторождения. Пространственное размещение запасов, их соотношение по категориям устанавливается недропользователем. По завершению работ *месторождение называется разведанным.*

Материалы подсчета запасов, результаты ТЭО и обоснование постоянных разведочных кондиций подлежат государственной экспертизе (геологической, экономической, экологической).

Стадия 5. Эксплуатационная разведка

Эксплуатационная разведка проводится регулярно на эксплуатируемых месторождениях с целью получения достоверных данных для безопасного ведения работ, оперативного планирования добычи, обеспечения наиболее полного извлечения из недр полезных ископаемых. Объектами изучения и оценки являются эксплуатационные этажи, блоки, уступы. Основными задачами при этом являются: уточнение контуров, вещественного состава, внутреннего строения тел полезного ископаемого, количества запасов по технологическим типам и сорта руд (с их геометризацией), уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным горизонтам, блокам и т. д. Подсчитываются запасы подготовленных к отработке блоков, запасы готовые к выемке.

Для обеспечения рационального использования недр ведется учет потерь и разубоживания полезного ископаемого. Определяются показатели извлечения количества полезного ископаемого и изменения его качества.

В процессе разработки месторождения при резком отклонении в отдельных его частях геологических, горнотехнических и иных условий разработки, а также при изменении экологической конъюнктуры, недропользователь имеет право разработать ТЭО

эксплуатационных кондиций. Они разрабатываются на ограниченный временной период и должны быть привязаны к конкретным участкам эксплуатации.

На протяжении разведки и эксплуатации месторождения ведется учет движения запасов в результате их прироста, добычи, переработки или списания с баланса горнодобывающего предприятия. Информация по движению запасов, добыче, потерях и обеспеченности предприятия разведанными запасами передается в федеральные и территориальные фонды геологической информации.

ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для сравнения запасов месторождений одного и того же ископаемого, учета минеральных ресурсов разной изученности в пределах страны и регионов необходимо располагать стандартизующей системой. Такой системой является *классификация запасов.*

В нашей стране классификация месторождений полезных ископаемых утверждалась многократно (1933, 1941, 1953, 1984, 1997, 2007 гг.). Последняя классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых устанавливает единые для Российской Федерации принципы их обоснования (Классификация…, 2007). Запасы полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе из изучения и промышленного освоения. Качество полезных ископаемых изучается с учетом необходимости их комплексного использования, технологии переработки на основе определенных требований к качеству полезных ископаемых и технических условий. При этом определяются содержания основных и попутных ценных, токсичных и вредных компонентов, формы их нахождения и особенности распределения в продуктах обогащения и переработки. Объектом подсчета запасов полезных ископаемых является месторождение (или часть месторождения) твердых полезных ископаемых.

Подсчет и учет запасов по месторождению производится в единицах массы или объема в соответствии с экономически обоснованными параметрами кондиций без учета потерь и разубоживания при добыче и переработке полезных ископаемых.

По экономическому значению запасы твердых полезных ископаемых и содержащихся в них попутных компонентов подразделяются на две группы: балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические); они подлежат раздельному подсчету и учету.

К *балансовым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам (ТЭР) экономически эффективна в условиях конкурентного рынка при использовании техники, технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

К *забаланцевым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно ТЭР экономически не эффективна (убыточна) из-за низких технико-экономических показаний, но освоение которых становится экономически возможным при изменении цен на полезные ископаемые, появлении оптимальных рынков сбыта или новых технологий.

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в случае, если ТЭР установлена возможность их последующего извлечения или складирования для использования в будущем.

Оценка балансовой принадлежности запасов полезных ископаемых производится на основании технико-экономического обоснования (ТЭО), подтвержденного государственной экспертизой. В рамках этой оценки должны быть предусмотрены наиболее эффективные способы разработки месторождений, предложены параметры кондиций, обеспечивающие максимально полное и комплексное использование запасов с учетом требований законодательства РФ.

Запасы полезных ископаемых по *степени геологической изученности* подразделяются на категории *A, B,* C_1 и C_2. Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых категорий P_1, P_2 и P_3 в настоящем учебном пособии не рассматриваются. Критерии их выделения в пределах минерализованных участков недр разобраны в учебных пособиях (Баранников, 2011, 2013; Коробейников, 2009; Поротов, 2012 и др.).

Запасы категории A выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й группы сложности геологического и должны удовлетворять требованиям: установлены размеры, форма и условия залегания тел полезных ископаемых; изучен характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения; выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки; установлено наличие разрывных нарушений; выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлен их состав, свойства, охарактеризовано качество сортов; изучены распределение и формы нахождения ценных и вредных компонентов в минералах и продуктах переработки; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по горным выработкам и скважинам на основе результатов их детального опробования.

Запасы категории B выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й и 2-й групп сложности строения и должны удовлетворять следующим требованиям: установлены размеры, основные особенности и изменчивость внутреннего строения, условия залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений установлено их положение и амплитуды смещения; определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественное соотношение промышленных типов и сортов полезного ископаемого; определены минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок.

Запасы категории C_1 составляют основную часть запасов разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й, 2-й и 3-й групп сложности геологического строения. Также эти запасы могут выделяться на участках детализации месторождений 4-й группы. Они должны удовлетворять следующим требованиям: выяснены размеры и характерные

формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения; оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, наличие площадей развития мелко амплитудных нарушений; определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; установлены общие закономерности их пространственного распространения и количественные соотношения промышленных типов и сортов, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок с учетом данных геофизических и геохимических исследований.

Запасы категории C_2 выделяются при разведке месторождений всех групп сложности, а на месторождениях 4-й группы сложности геологического строения составляют основную часть запасов, вовлекаемых в разработку. Они должны удовлетворять следующим требованиям: размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим, геофизическим и геохимическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций на основании опробования ограниченного количества скважин, горных выработок, естественных обнажений с учетом данных геофизических и геохимических исследований, геологических построений.

Учитывая определенную «монотонность» в изложении вопроса категоризации запасов и, в известной степени, повторяемость предъявляемых требований к обоснованию отдельных категорий запасов, отразим этот материал в таблице 2, приведенной в учебном пособии (Шевелев, 2004). В ней наглядно *отражены особенности* требований к запасам разных категорий.

На разрабатываемых месторождениях *вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы* полезных ископаемых, а также находящиеся в охранных целиках горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, *подсчитываются отдельно* по категориям в соответствии со степенью их геологической изученностью.

При квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классифицированного показателя должны (или могут) использоваться количественные и вероятностные оценки *точности и достоверности* определения основных параметров. Однако конкретных количественных показателей для отдельных категорий запасов до сих пор не разработано. Свой подход в решении этого непростого вопроса рассмотрен А. Б. Кажданом (Каждан, 1977, 1984).

Нет сомнения в том (отмечает этот автор), что категория запасов определяется *густотой сети наблюдений.* В то же время *точность подсчета запасов зависит, прежде всего, от количества наблюдений в пределах разведанного участка* и в меньшей степени – от густоты сети наблюдений. При разной густоте сети, но при сопоставимом числе наблюдений в блоках различных размеров, *погрешности вычисления* среднеблочных оценок могут быть *примерно одинаковыми,* в то время как разведанность блоков будет резко различаться.

Понятия разведанность и точность подсчета запасов могли бы рассматриваться как взаимозависимые только при условии последовательной детализации разведочных данных в блоке установленного размера, когда с уменьшением расстояний между смежными точками наблюдений их количество в блоке закономерно возрастает. В практике разведки это условие обычно не выполняется. При детализации разведочных данных подсчетные блоки категории C_1 разделяются на более мелкие блоки категории *B*, а те в свою очередь на еще более мелкие блоки категории *A*. Поэтому связи между числом наблюдений и густотой разведочной сети не возникает.

Таким образом, при *оценке достоверности* результатов геологоразведочных работ необходимо различать степень разведанности запасов и точность их подсчета в заданных объемах недр (Каждан, 1977).

Степень разведанности запасов характеризуется детальностью выявления условий залегания, форм и строения полезного ископаемого, условий пространственного размещения в недрах. Количественно она может быть оценена *погрешностями геометризации* разведанных скоплений полезного ископаемого в недрах для заданной сети наблюдений.

Точность подсчета запасов может быть охарактеризована *погрешностями оценок их качества и количества* в оконтуренных объемах недр.

Из определения сформулированных понятий вытекает вывод, что при переводе запасов из более низких категорий в более высокие повышается не столько точность ранее подсчитанных запасов, сколько выявляются детали их пространственного размещения в пределах более мелких участков и блоков месторождения. Таким образом, точность подсчета запасов оценивается для категорий *A, B* и C_1 примерно одной и той же погрешностью. Но в зависимости от степени детальности наблюдений эта погрешность относится к разным по величине объемам недр.

На невозможность оценки степени изученности в виде цифровых показателей обращает внимание И. Д. Коган (Коган, 1974). Сказанное он мотивирует тем, что при подсчете запасов невозможно обеспечить заранее заданную величину погрешности для отдельных категорий, так как достоверность всех исходных данных остается практически неименной для разных категорий запасов. Категория запасов может быть понижена в силу иных причин. Например, при низком выходе керна, незавершенности технологических исследований, при ошибках геологической интерпретации.

Специального рассмотрения заслуживают классификации запасов твердых полезных ископаемых, применяемые в основных горнодобывающих странах (Австралии, США, Великобритании, Канаде и др.). Сопоставление отечественной квалификации с зарубежными, описание признаков их сходства и различия необходимо при обосновании инвестиционной привлекательности выставляемых на конкурс отечественных месторождений, а также решения ряда иных вопросов.

Обычно в зарубежных классификациях используются не более трех категорий ресурсов (resourses): измеренные (measured), исчисленные (indicated) и предполагаемые (inferred), а для оценки изученности запасов – даже двух: доказанные (proved) и вероятные (probable).

Несколько иной является классификация МАГАТЭ, используемая для отражения сырьевой обеспеченности атомной отрасли. Все учитываемые количества сырья квалифицируются как ресурсы (recourses). Для характеристики их изученности (достоверности) используются две категории: достоверно установленные (Reasonably Assured Resources – RAR) и дополнительные (Inferred Resources). Сумма оценок по этим категориям рассматривается как установленные ресурсы (Identified). Для оценок ресурсов, связанных с ещё не открытыми месторождениями (Indiscovered), используются категории прогнозные (Prognosticated) и умозрительные, рискованные (Speculative).

Разное целевое назначение российских и зарубежных классификаций затрудняет их однозначное сопоставление. Точного сопоставления между отдельными категориями не может быть в принципе. В то же время при задействовании классификации МАГАТЭ условно можно считать, что категория RAR примерно соответствует категории C_1, Inferred – C_2, Prognosticated – P_1, а Speculative – P_2+P_3.

В 90-х годах ООН был разработан специальный документ, получивший название «рамочный» (frame word) классификатор ООН. Подготовленная основа классификации представляет универсальную трехмерную матрицу, являющуюся ключом-дешифратором. Она позволяет осуществлять переход от одной классификационной системы к другой (рис. 3). В представленной классификации запасы и ресурсы оцениваются с трех позиций:

- геологическая изученность, определяемая стадией выполнения работ – детальная разведка (разведка), предварительная разведка (оценка), поиски, рекогносцировочные геологические наблюдения;
- экономико-технологическая изученность, определяемая стадией технико-экономической оценки (ТЭО постоянных и временных кондиций, оценка по аналогии и т. д.).
- экономичность освоения запасов, определяемая как достаточная или низкая рентабельность.

Каждая из ячеек матрицы имеет цифровую кодировку. В системе этих координат запасы, отвечающие той или иной степени изученности, выделяются как трехмерные тела. Например, запасы, выявленные на стадии разведки (A+B+C_1 по отечественной классификации) и имеющие положительную экономическую оценку на уровне ТЭО постоянных кондиций, получают кодировку 1.1.1.

С 90-х годов XX века в промышленных странах разработан еще один путь согласованного подхода к оценке запасов, определяемый сводами правил («кодексами отчетности»). Одним из таких кодексов, принятых в 2006 г, в ЮАР, Канаде и США, является CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards). Согласно стандарту CRIRSCO эксперты в заключениях должны руководствоваться определенной схемой классификации ресурсов (рис. 4). Стрелками на схеме показаны возможные переходы ресурсов в запасы при осуществлении экономической оценки объекта и обратно (например, при снижении цен), а также вероятные (probable) через измеренные, подсчитанные (measured) в доказанных (proven) при доразведке. Ресурсы предполагаемые (inferred) экономического значения не имеют.

Системы стандартов (CRIRSCO, YORK и др.) успешно задействованы за рубежом. Однако при попытках трансформировать оценки ресурсов в таксоны отечественной

классификации следует иметь в виду, что строго формальные соотношения здесь невозможны.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ

Обоснование оптимального комплекса технических средств – кардинальный вопрос разведки месторождений. На выбор технических средств разведки оказывают влияние геологические, горнотехнические и географо-экономические факторы. Их совокупным влиянием определяется пространственная ориентировка разведочных разрезов, расположение разведочных пересечений, техника проходки разведочных выработок (Каждан, 1977, 1985).

Геологические факторы отражают условия формирования, состав и строение полезных ископаемых, закономерности их локализации в геологических структурах, уровень эрозионного среза месторождений. Определяющее значение при этом имеют: характер связи полезных ископаемых с элементами геологического строения; условия залегания и морфология скоплений полезных ископаемых, их размеры; строение и состав залежей полезных ископаемых.

При анализе влияния *горнотехнических факторов* на выбор технических средств разведки должны быть учтены: предполагаемые способы вскрытия и разработки месторождения; гидрогеологические условия, горнотехнические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород.

Геолого-экономические факторы также могут оказывать влияние. В зависимости от уровня экономической освоенности, климата, ландшафтных особенностей рельефа, энергообеспеченности территории, наличия трудовых ресурсов, дорог и т. д. приходится решать вопросы рационального соотношения горноразведочных, буровых работ и геофизических исследований.

Технические средства геологоразведочных работ различаются по своим возможностям, информативности, стоимости (Шевелев, 2004, Петруха, 2003). Они включают: горные разведочные выработки, буровые скважины, геофизические исследования.

А. *Горные выработки* подразделяются на поверхностные и подземные. К поверхностным относятся канавы и траншеи (магистральные и прослеживающие), мелкие шурфы и дудки, расчистки; к подземным – глубокие шурфы, штольни и шахты с комплексом развиваемых из них горизонтальных выработок (квершлаги, штреки, орты, рассечки), а также наклонных и вертикальных (восстающие, гезенки).

Поверхностные горные выработки используются для вскрытия полезного ископаемого и вмещающих пород в коренном залегании, изучения зоны окисления рудных тел. Проведение этих выработок не требует больших затрат и поэтому широко используется на ранних стадиях изучения месторождений. Ведущее значение имеет проходка *канав.* Обычно их проходят на глубину 2-3 м, реже до 6 м уступами с высотой не более 2 м. При малом объеме работ и их рассредоточенности проходка канав осуществляется вручную. В стадию разведки канавы проходят с применением буровзрывных работ (рыхление, на выброс) и экскаваторами, бульдозерами, канавокопателями, скреперными установками. Те же геологические задачи (вскрытие рудных тел, их документация, опробование) решает

проходка *траншей.* От канав они отличаются большим поперечным сечением и глубиной проходки (до 5 м). Используются современные технические средства – бульдозеры, скреперы, роторные установки. При изучении месторождений, представленных жильными зонами (в том числе, камнесамоцветного сырья) и для отбора технологических проб, возможна проходка *разведочных карьеров* (Петруха, 2003). Форма карьеров в плане, их размеры и глубина определяются целевым заданием. Используются карьеры для разведки полезных ископаемых, выходящих на дневную поверхность или находящихся на небольшой глубине. Глубина карьеров может достигать 50 м, а объем – десятков кубических метров. При проходке применяют разные технические средства.

Для прослеживания и оконтуривания залежей по простиранию при мощности рыхлых отложений более 5 м, а также вскрытия предполагаемых под наносами новых тел полезных ископаемых, предусматривается проходка разведочных *шурфов.* Они подразделяются на мелкие (до 10 м) и глубокие (до 40 м). Площадь сечения шурфов 1,25; 1,5; 2,0; 4,0 м^2. Глубокие шурфы проходят для изучения условий залегания рудных тел, отбора проб монолитов. При необходимости из шурфов проходят рассечки сечением 1,8, 2,7 или 3,6 м^2. Многие годы шурфы служили основным техническим средством при разведке россыпей и других приповерхностных месторождений. Неглубокие шурфы круглого сечения называются *дудками.* Шурфы, проходимые в неустойчивых и рыхлых породах, крепят, а глубиной более 10 м вентилируют.

Механизированная проходка шурфов осуществляется с использованием специализированных технических средств, предназначенных только для бурения (КШК-30А, УБСР-25), или комбинированных, используемых для проходки шурфов и скважин (ЛБУ-50, КБУ-15, УКС-22М).

Подземные горные выработки по целевому назначению подразделяются на подходные (вскрывающие) и собственно разведочные (Шевелев, 2004). К подходным относятся шахты, подходные штольни и квершлаги; к основным – штреки, орты, рассечки и восстающие.

Стволы *разведочных шахт* используются как вскрывающие выработки при разведке месторождений. Сечение разведочных стволов колеблется от 6 до 12 м^2, а глубина – до нескольких сотен метров. *Разведочные штольни* служат горизонтальными вскрывающими выработками при разведке месторождений, залегающих в условиях пересеченного рельефа. Поперечное сечение штолен колеблется в пределах от 6 до 9 м^2. *Квершлаг* также является горизонтальной вскрывающей подземной выработкой и проходится из ствола шахты. Разведочным квершлаг является только в той части, где выработка пересекает залежь полезного ископаемого. *Разведочные штреки* представляют горизонтальные горные выработки, пройденные по простиранию залежей. Их целью является прослеживание по простиранию строения рудных тел, сплошности оруденения. Штрек может быть пройден по полезному ископаемому (*рудный штрек*) или по вмещающим породам (*полевой штрек*). Если тела полезных ископаемых обладают значительной мощностью, то от полевого или рудного штрека через определенные интервалы проходят *орты* (рассечки) или *скважины* с выходом во вмещающие породы для вскрытия продуктивных зон на полную мощность. Эти выработки выполняют роль разведочных пересечений. *Разведочные гезенки* проходят из

квершлагов вверх или вниз, пересекая пологопадающие тела полезного ископаемого по их мощности. *Разведочные восстающие* проходят из штреков по восстанию залежей полезного ископаемого. Проходят восстающие с целью прослеживания залежей полезного ископаемого между основными горизонтами горных работ. При этом появляется возможность изучения сплошности оруденения по восстанию, изменчивости мощности и качества минерального сырья по вертикали.

Площади поперечного сечения в проходке квершлагов и штреков колеблется в пределах 3,6-5,8 м^2, ортов – 2,7-3,6 м^2, восстающих и гезенков – до 4 м^2.

При проходке разведочных выработок используются разнообразные технические средства, осуществляющие буровзрывные, погрузочные, откаточные, подъемные и иные виды работ.

Применение горных работ в качестве технического средства рекомендуется осуществлять с учетом следующих требований (Петруха, 2003):

- при заложении дорогостоящих горных выработок необходимо учитывать геологические особенности объекта (условия залегания, размеры, форма залежей), полученные во многих случаях путем разведочного бурения;
- преобладающая часть горных выработок должна приходиться на вскрытое полезное ископаемое с целью его изучения и опробования;
- горные выработки следует проходить с учетом их дальнейшего использования при эксплуатации месторождения; например: использования разведочных шахт в ранге вентиляционных.

Горные выработки позволяют детально изучить изменчивость параметров оцениваемых объектов (по форме, качеству сырья, сплошности оруденения и т. д.), учет которых крайне необходим при разведке месторождений 3-й и 4-й групп по сложности геологического строения. Примеры размещения горных выработок при вскрытии и разведке тел полезных ископаемых отражены на рисунках, приведенных в учебных пособиях (Петруха, 2003; Шевелев, 2004).

Б. *Буровые разведочные скважины* – наиболее широко применяемые технические средства разведки. Для большинства полезных ископаемых они являются главным и даже единственным техническим средством. Следует учитывать, что скважины дают менее полные сведения об оцениваемом полезном ископаемом, но буровые работы нашли широкое применение благодаря мобильности, скорости проходки скважин, относительной легкости оборудования, меньшим расходом средств на метр проходки (Шевелев, 2004). При всех очевидных преимуществах буровые скважины имеют и недостатки: они вскрывают небольшие участки недр; дают менее точные сведения о составе и строении полезного ископаемого по сравнению с горными выработками; повторное контрольное опробование и отбор проб разного назначения ограничен из-за малого количества получаемого каменного материала; при бурении скважин наблюдается их искривление, что усложняет геометризацию разведанных объемов недр; при бурении по рудоносным интервалам возникают осложнения и отмечается недостаточный выход каменного материала с ненарушенной структурой. Но буровые скважины незаменимы при разведке глубоко

залегающих месторождений. Месторождения 1-ой и 2-ой групп по сложности геологического строения в основном разведуются только бурением.

При разведке месторождений твердых полезных ископаемых скважины бурятся с поверхности и из подземных горных выработок. Для поверхностного бурения используются неглубокие ударно-вращательные, вибрационные скважины и более глубокие ударно-канатные, пневмоударные и гидроударные. При оценке глубоких горизонтов задействуют бурение колонковых скважин и бескерновых скважин вращательного бурения. Из подземных горных выработок бурятся колонковые, шарошечные и перфораторные скважины.

Приповерхностные скважины глубиной до нескольких десятков метров используются для геологического изучения рудовмещающих структур, прослеживания, опробования и оконтуривания приповерхностных участков месторождений (Шевелев, 2004). Возможно использование разного типа буровых установок: УПБ-25 и УБР-2, БУУ-2, УКБ 12/25, БУ-20-2УШ и др.

Колонковое бурение глубиной от десятков метров до 150-200 м осуществляется агрегатами, смонтированными на автомашинах (УКБ-2, БСК, КГК-100 и др.). Более глубокие скважины бурятся агрегатами УКБ-3, УКБ-4, УКБ-5 и станками ЗИФ-650, СБА-500, СБА-800, ЗИФ-1200 и др. В последнее время в практике геологоразведочных работ нашли применение станки, разработанные зарубежными фирмами. Наиболее широко применяются буровые установки компаний Boart Longyear, Atlas Copco, Sandvik, SCHRAMM и их аналогов, произведенных, как правило, в КНР. Известные в нашей стране установки алмазного бурения серии Boart Longyear включают станки LM30, LM45, LM55, LM75. Размещенные на них манипуляторы позволяют ориентировать направление бурения скважины в любую заданную сторону.

Создание новой техники направленного бурения позволило проводить разведку по более рациональным схемам при проходке многоствольных скважин и за счет этого – многократного увеличения массы опробуемого рудного материала (без бурения дополнительных скважин). При этом дополнительные стволы могут располагаться как в одной вертикальной плоскости, искривления в одну сторону, так и задаваться в разных азимутальных направлениях (рис. 5).

Скважины подземного бурения могут являться частью разведочной системы или решать частные задачи, возникающие при геологическом изучении месторождения (прослеживание локальных рудоконтролирующих структур, апофиз, поисков смещенных частей рудных тел и т. д.). Бурение колонковых горизонтальных, наклонных и вертикальный скважин до 100 м осуществляется станками БСК-2М-100, а бескерновое – станками НКР-100. Неглубокие подземные скважины могут буриться с помощью колонковых или телескопных перфораторов без отбора керна глубиной 15-20 м.

В. *Геофизические исследования* играют большую роль в изучении земных недр, в том числе, на стадии разведки месторождений. Несмотря на то, что непосредственной геологической информации эти исследования не дают, геофизика как метод во многих случаях позволяет сократить количество необходимых разведочных пересечений, получить дополнительную ценную информацию. При обосновании и своевременном проведении

комплекса геофизических исследований появляется возможность пересмотра рекомендуемых методик и технических средств разведки. Последние могут меняться в зависимости от конкретной геологической обстановки и разрешающей способности геофизических средств разведки (Шевелев, 2003).

Как основные технические средства, геофизические методы могут применяться для исследования недр в промежутке между разведочными сечениями и при задействовании операций геофизического опробования.

Комплекс геофизических методов для решения основных задач разведки выбирается на основе учета совокупности факторов, определяющих возможную эффективность раздельного и совместного их применения. К таким факторам относятся (Комплексная …, 1990):

- степень дифференциации пород и руд по физическим свойствам, определяющая возможность использования данных каротажа для петрографической характеристики объектов;
- размеры, форма, элементы залегания, число рудных тел, текстурно-структурные особенности руд и их вещественный состав;
- присутствие в разрезе пород, близких по физическим свойствам к рудным образованиям;
- методика ведения горных и буровых работ, техническое состояние скважин.

При обосновании методики разведочных работ в рациональный комплекс необходимо включать минимальное и достаточное число геофизических методов, обеспечивающих получение достоверной информации с наименьшими затратами труда и времени. При задействовании нескольких методов следует предусмотреть последовательную их реализацию, скорректированную в зависимости от результатов каждого предыдущего метода.

Представления о возможностях геофизических методах формируются на основе *физико-геологической модели* (ФГМ) *объекта.* ФГМ включает геологическую модель, сведения о физических свойствах структурных элементов геологической модели, ожидаемые геофизические поля и аномалии на площади или по отдельным профилям (Сапожников, 2012).

В комплекс *наземных геофизических работ* при разведке месторождений входит широкий перечень методов: электроразведки, магниторазведки, радиометрии и др. Геофизические съемки в масштабе 1:2000-1:1000 позволяют более надежно оконтурить площади развития рудной минерализации, поля измененных околорудных пород, проследить выходы рудных тел, установить элементы их залегания, определить мощность рыхлых отложений и границу коры выветривания. Рассмотрим лишь ведущие из перечисленных методов.

Электроразведка включает группу методов, основанных на изучении естественных или искусственно возбужденных в земной коре электромагнитных полей. Электромагнитное поле зависит от свойств горных пород (удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, электрохимической активности). Это позволяет по изменению параметров поля изучать геологическое строение

площади и выявлять залежи полезных ископаемых. Используются следующие основные группы методов.

Электропрофилирование (ЭП) является одним из самых распространенных методов электроразведки и применяется для изучения крутопадающих слоистых толщ при некоторой постоянной глубинности изучения разреза по профилю (Сапожников, 2012). Геологическими предпосылками для применения метода является присутствие в рудах сульфидов, минералов железа и других, обусловливающих их низкое электросопротивление по сравнению с вмещающими породами. Распространенным является вариант ЭП, получивший название срединный градиент (СГ). В этом варианте токовые электроды разносятся на большое расстояние (1-3 км) и остаются неподвижными в процессе измерения удельного электрического сопротивления ρ_k при перемещении приемной установки *MN* постоянного тока и постоянного размера между электродами *AB*. В горизонтальной однородной среде градиент электрического поля ($\Delta U/MN$) практически постоянен и на его фоне заметны проявления неоднородности разреза в виде локальных тел, крутопадающих пластов с аномальными электрическими свойствами (например, зон окварцевания).

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) – метод электроразведки, применяемый для изучения изменения удельного сопротивления по глубине для некоторой вертикальной трассы. Основан метод на постепенном увеличении размеров установки *AB* с общей центральной точкой (точкой зондирования), при котором увеличивается глубина проникновения тока и, соответственно, глубинность исследований. Метод ВЭЗ используется для изучения пространственного положения, морфологии и элементов залегания рудных тел в вертикальном разрезе. Широко задействуют его при геоморфологических исследованиях, для определения позиции и состава кор выветривания, мощности и строения рыхлого покрова, при гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях.

Метод вызванной поляризации (ВП) основан на изучении электрохимических процессов, возникающих на границе пород с ионной проводимостью (электронных проводников) и окружающей их жидкостью (электролитом) под воздействием пропускаемого тока. После выключения тока некоторое время в цепи возникает вторичная ЭДС – гальванический источник тока, создающий нестандартное поле вторичной поляризуемости. Метод ВП широко используется при разведке месторождений сульфидных, магнетитовых, редкометалльных и иных руд, при оценке ореолов с рассеянной рудной минерализацией.

Метод естественного поля (ЕП) основан на изучении естественных электрических полей, обусловленных разными электрохимическими процессами, самопроизвольно протекающими в земной коре. Метод эффективен при разведке рудных тел близповерхностного залегания, являющихся электронными проводниками. Используется при разведке сульфидных, магнетитовых, марганцевых и графитовых месторождений.

Метод переходных процессов (МПП) основан на изучении низкочастотного электромагнитного поля. В МПП изучается неустановившееся поле вихревых токов,

возникающих в породах и рудах при ступенеобразном изменении тока в контуре, который может быть расположен как на наземной поверхности, так и в воздухе (Горбунова, 1982).

Магниторазведка основана на изучении пространственных изменений геомагнитного поля, возникающих вследствие неодинаковой намагниченности горных пород и руд. Магнитное поле измеряют с помощью магнитометров, предназначенных для измерения полного вектора напряженности Т и его вертикальной составляющей. Обычно выполняют относительные измерения, находя приращения значений поля между двумя пунктами наблюдений. Интерпретация магнитных аномалий начинается с анализа карт изолиний магнитного поля, по которым судят о морфологии, размерах и природе возмущающих объектов (Сапожников, 2012). Количественную интерпретацию аномалий осуществляют, используя графики по профилям, проходящим крест простирания геологических объектов. Магнитные съемки с высокой детальностью и точностью 1-2 нТл включаются в разведочный комплекс для решения широкого круга вопросов. В том числе: расчленения пород по литологическому составу; выявления локальных структурных элементов (даек, жил, жерловых построек и т. д.); обоснования зональности размещения разных типов метасоматических пород; выявления магнитных руд черных металлов и слабомагнитных – цветных, благородных, редкометалльных; изучения рудных тел в морфоструктурах месторождения; изучения инженерно-геологических условий и т. д.

Гравитационная разведка основана на изучении пространственного распределения плотности в земной коре с помощью измерения силы тяжести σ (в г/см^3). При интерпретации полей силы тяжести используется характеристика избыточной плотности $\Delta\sigma$, представляющая разность плотностей отдельного геологического тела $\sigma_т$ и вмещающих пород $\sigma_{вм}$. Она может быть положительной или отрицательной. Единицей измерения силы тяжести является Галл (см/с^2). Но обычно пользуются более мелкой единицей – миллигалом (1 мГал =10^{-3} Гала). В разведочной геофизике относительные измерения гравитационного поля g выполняются с помощью гравиметров. Прибор позволяет измерять приращение g от точки к точке, т. е. Δg. На этой основе вычисляются аномальные поля Δg, по которым судят о неоднородностях по плотности в земной коре.

Гравиразведка применяется при структурно-геологическом изучении земной коры, разведке разных полезных ископаемых. Наиболее эффективно гравиметровой съемкой выявляются залежи железорудных и хромитовых месторождений, интенсивность аномалий силы тяжести над которыми может достигать 0,4-0,5 мГал. При увеличении детальности съемки возможно обнаружение рудных тел сульфидных месторождений размером 0,1-0,2 км^2, с интенсивностью аномалий 0,2-0,5 мГал (Шевелев, 2004).

Радиометрические методы основаны на изучении радиоактивности руд и горных пород с целью решения поисково-картировочных и разведочных задач, опробования. Наибольшее применение получила *гамма-съемка*, дающая положительные результаты для обнаружения радиоактивных руд и расчленения горных пород. Съемка проводится в аэро-, пешеходном, автомобильном вариантах. Радиоактивность выражается через мощность дозы излучения за единицу времени в А/кг (в системе СИ) или в микрорентгенах в час (1 мкР/час=10^{-12} А/кг). Изменения выполняют с использованием спектрометрической

аппаратуры, позволяющей выделять урановую и калиевую составляющую радиоактивного поля.

Повышенной радиоактивностью обладают породы, в которых в рассеянном состоянии находятся элементы урана, тория. Также повышенная радиоактивность свойственна породам, содержащим изотоп Калий-40. Он присутствует в кварц-серицитовых сланцах, нередко несущих золоторудную минерализацию, полевошпатовых породах, калийных солях.

Геофизические исследования скважин (ГИС) – это отрасль разведочной геофизики, отличающаяся от других методов только по методике исследований. Основные положения теории физических полей, измеряемых в скважинах, остаются теми же, что и в полевой геофизике (Сковородников, 2009, 2016). Роль и значение ГИС постоянно возрастает. В перспективе ГИС открывает путь к бескерновому изучению скважин. В настоящее время в скважинах регистрируется большое количество разных параметров (около 40). При этом стоимость ГИС составляет незначительную часть от общей стоимости сооружения и оборудования скважины.

В ГИС выделяют три больших раздела: каротаж, операции в скважинах и скважинную геофизику.

Каротаж – это геофизические методы изучения геологического строения разрезов скважин. В каротаже исследуются очень небольшие объемы горных пород, прилегающие к стенкам скважины. Отличительная особенность каротажа – высокая детальность и точность исследований. Результаты фиксируются в виде непрерывных диаграмм по стволу скважины или в виде числовых значений с шагом порядка 10-20 см. Каротаж позволяет выполнять литологическое расчленение разрезов скважин, выделять в них интервалы полезного ископаемого, определять физические свойства горных пород и полезных ископаемых in situ. Именно на основании данных каротажа производится интерпретация полевых геофизических методов: электроразведки – по данным об удельном электрическом сопротивлении (УЭС) пород; магниторазведки – по значениям магнитной восприимчивости пород: гравиразведки – по их плотности. Каротаж дает сведения, необходимые для подсчета запасов месторождения – данные о мощности залежей, содержанию полезного компонента и т. д. Изучение скважин подразделяется по природе изучаемых полей на методы электрического, радиоактивного каротажа и прочие методы (Сковородников, 2009, 2016).

Методы электрического каротажа включают:

а) Группу методов кажущегося сопротивления (КС). В эту группу входят: метод КС – наиболее распространенный; резистометрия – метод определения удельного сопротивления жидкости; метод БКЗ (боковых каротажных зондирований) – скважинный аналог метода ВЭЗ; БК – боковой каротаж и др.

б) Методы токового каротажа: метод скользящих контактов (МСК) – при исследовании рудных скважин; метод бокового токового каротажа (БТК) – для исследования углеразведочных скважин.

в) Группа электромагнитных методов: ИК – индукционный каротаж, использующий поля низких частот; ВМП – высокочастотный волновой метод проводимости и др.

г) Группа методов электрохимической активности: ПС – метод потенциалов самопроизвольной поляризации (аналог метода естественного поля); метод электродных потенциалов (МЭП). Методы ПС и ПК стали применяться совместно, получив название стандартного электрического каротажа.

Методы радиоактивного каротажа (РК) включают: ГК – гамма каротаж – регистрация естественного гамма-излучения горных пород; ГГК – гамма-гамма каротаж, имеющий две разновидности – плотностной (ПГГК) и селективный (СГГК); РРК – рентгенорадиометрический каротаж; НГК – нейтронный гамма-каротаж и другие методы.

Скважинная геофизика – это геофизические методы изучения геологического строения межскважинного, околоскважинного и призабойного пространства. В отличие от каротажа, скважинная геофизика отличается большими объемами исследуемых горных пород. Это позволяет увеличить действующую зону влияния скважин, пройденных по разряженной сети, обеспечить получение дополнительной геологической информации о межскважинном пространстве.

Методы скважинной и полевой геофизики подразделяются по природе исследуемых физических полей. Широкое использование в практике разведочных работ получили методы скважинной разведки. Выделены методы, основанные на использовании тока разной природы.

На постоянном токе: метод ЕП-С (естественного поля, скважинный вариант), МЗТ – метод заряженного тела, МЭК – метод электрической корреляции разрезов, ЧИМ – метод частичного извлечения металла.

На переменном токе: метод радиоволнового просвечивания, ДЭМПС – дипольного электромагнитного профилирования скважин, ННП-С – наземной незаземленной петли, скважинный вариант.

На импульсном токе: СП-С – метод вызванной поляризации, скважинный вариант; МПП-С – метод переходных процессов, скважинный вариант.

Задачи геофизических исследований в *горных выработках* во многом близки к тем, что уже были сформулированы выше. В том числе: корреляция рудных подсечений; оконтуривание и оценка размеров рудных тел; поиски пропущенных при разведке рудных тел в межвыработанном, межскважинном и околоскважинном пространстве; оценка положения выработок относительно рудных тел; внедрение в практику геофизического опробования.

Геофизическое опробование дополняет геологическое и во многих случаях его заменяет. Оно осуществляется в скважинах и шурфах, на стенках горных выработок. Также опробуется отбитая рудная масса в вагонетках и на транспортерах. Особенности геометрии среды измерений и условий их проведения отражаются в специфичности аппаратуры, в конструкции датчиков.

При измерении в горных выработках основными методами электроразведки являются (Рудничная…, 1986): метод ПС, электропрофилирование, метод электрической корреляции (МЭК), методы грави- и магниторазведки. С их помощью решаются горнотехнические задачи: определяется плотность горных пород и руд, выявляются подземные полости и зоны обрушения, форма карстовых полостей, коэффициенты

фильтрации подземных вод и другие вопросы геологического обеспечения добычных работ.

СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Метод локальных геологических наблюдений реализуется в разведке посредством *разведочной сети* (РС). Разведочная сеть – это методическое обоснование разведки месторождений полезных ископаемых. Она непосредственно влияет на получаемую разведочную информацию об оцениваемом объекте. От влияния собранной при разведке информации позднее невозможно избавиться никакой последующей обработкой данных (включая математическое и иное моделирование). Обоснование рациональной РС, отвечающей геологическим особенностям оцениваемого объекта, является кардинальным вопросом разведки месторождений.

Обоснование РС опирается на ряд понятий.

Любая разведочная выработка, пересекающая природное скопление полезного ископаемого, представляет искусственное обнажение и в случае выполнения определенных условий может рассматриваться как *единичное разведочное пересечение.* Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует *разведочное сечение*, а совокупность разведочных сечений в пространстве – *разведочную систему.* Таким образом, *под разведочной системой понимается совокупность разведочных сечений (разрезов), определенным образом ориентированных в пространстве по отношению к рудному телу, позволяющих решать стоящие перед разведкой задачи* (Каждан, 1977; Рудничная…, 1986; Шевелев, 2004). Прослеживание объектов разведки в заданном направлении осуществляется с помощью разведочных пересечений, в заданной плоскости – с помощью разведочных сечений (разрезов), в заданном объеме – с помощью разведочных систем.

Разведочное пересечение должно удовлетворять ряду требований. Главные из них (Шевелев, 2004):

а) должно быть ориентировано в направлении близком к направлению максимальной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах (чаще – по линии мощности);

б) вскрывать залежи полезных ископаемых на полную мощность с выходом во вмещающие породы.

Разведочное пересечение может быть выполнено с применением разных технических средств: скважин, шурфов, подземных горных выработок и др. Их выбор зависит от задач разведки, природных особенностей объекта, технико-экономических соображений. Чем сложнее строение полезного ископаемого, тем в большей степени должно быть вскрыто тело оцениваемой залежи. Оптимальным при этом является использование разведочных горных выработок.

Разведочное пересечение должно быть сплошным, что обеспечивает полную информацию по изучаемому направлению. Вычисленные по нему средние значения свойств наиболее близки к действительным. Они расходятся только на величину технических погрешностей экспериментальных наблюдений.

Разведочные сечения (разрезы) могут быть поперечными, продольными или косыми по отношению к телам полезных ископаемых, а также горизонтальными или вертикальными. Разведочные пересечения в пределах разрезов могут располагаться параллельно под разными углами или пересекая друг друга. Если сведения о строении и свойствах полезного ископаемого накапливаются по линиям на основе данных разведочных пересечений, то площади (объемы) между смежными разведочными разрезами остаются неосвещенными. Чтобы иметь сведения о свойствах полезного ископаемого в пределах этих площадей, необходимо располагать характеристикой изменчивости залежи и геологической информацией, которая может быть получена только по принципу аналогии.

Несколько иной смысл вкладывал в понятие разведочной системы основоположник учения о поисках и разведке МПИ В. М. Крейтер (1961). В основе предложенной им систематики предлагалось брать необходимый комплекс технических средств разведки. Под системой разведки он понимал «такое пространственное размещение разведочных средств, которое дает возможность построить намеченные разрезы и произвести необходимое опробование для подсчета промышленных запасов полезного ископаемого». Все разведочные системы В. М. Крейтер объединил в три группы, взяв за основу технические средства разведки: группы буровых, горных и горно-буровых систем. Позднее в развитие представлений о разведочных системах уже иными авторами были положены такие базовые понятия как характер изменчивости свойств полезных ископаемых, особенность анизотропии в строении залежей, возможности их изучения на основе комплекса технических средств. Так, А. Б. Каждан (1984) предложил классификацию разведочных систем, разделив их на три класса: системы вертикальных, горизонтальных и продольных разрезов, а также входящих в них ряда групп и видов (табл.).

РАЗВЕДОЧНАЯ СЕТЬ, ЕЁ ТИПЫ, ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

Типы разведочных сетей

Обоснованность запланированной в проекте разведочной системы раскрывает выбранная разведочная сеть. Под *разведочной сетью* (РЗС) следует понимать взаиморасположение в объекте разведки локальных наблюдений и измерений разведочных параметров (Шевелев, 2004). Практика показала, что при одной и той же разведочной системе могут быть реализованы разные РЗС и, наоборот, разными разведочными системами могут быть созданы одинаковые разведочные сети.

Разведочную сеть характеризуют ряд показателей.

Анизотропия РЗС – это различие в размещении наблюдений и замеров по разным направлениям пространства. Анизотропия проявляется в форме и ориентировке ее ячеек. Если форма ячеек изометричная (квадратная, треугольная), то сеть изотропна. Если ячейка сети обладает удлиненной формой (прямоугольной, ромбической) с одинаковой ориентировкой, то сеть анизотропна.

Геометрия сети может быть разной. Выделяют правильные, неправильные и линейные сети.

Правильные сети – расположение разведочных пересечений подчиняется строгому геометрическому порядку (квадратная, прямоугольная, ромбическая).

Неправильные сети – отсутствует общая геометрическая упорядоченность в расположении разведочных пересечений.

В *линейных сетях* – разведочные пересечения располагаются в плоскости разведочных сечений и образуют отдельные линии на плоскости проекции; они могут быть параллельными или пересекающимися.

РЗС формирует представление об объекте разведки, соответствие которого в действительности можно проверить только в процессе отработки месторождения. Поэтому следует стремиться к обоснованию и реализации на практике «оптимальной» разведочной сети. По мнению В. В. Шевелева (2004) для этого необходимо выполнение ряда условий.

Первое: при ограниченных ассигнованиях на разведку оптимальная РЗС должна быть обеспечена лимитированным количеством разведочных пересечений, позволяющим выполнить разведку с наибольшей точностью и детальностью.

Второе (дополняющее первое): требования по точности и детальности разведки (категоризации запасов) следует реализовать наименьшим количеством разведочных пересечений.

Третье: у разведочной сети должна быть «оптимальная геометрия», отвечающая структурно-морфологическим особенностям объекта.

На примере четырех ведущих морфологических типов полезных ископаемых ниже рассмотрены условия выбора разведочных сетей (Волков, 2006).

1. Горизонтальные пластовые, пластообразные и линзообразные залежи, имеющие в плане изометричную или близкую к ней форму. Элементы анизотропии свойств не выражены. К этой группе следует отнести месторождения осадочного генезиса и кор выветривания: часть месторождений железных руд, марганца, никеля, бокситов, углей, фосфоритов. Если залежь должна быть изучена с одинаковой точностью по всей площади, то для достижения этой цели наиболее эффективна *квадратная сеть* разведочных пересечений (рис. 20). Она дает возможность получить серии взаимно пересекающихся разрезов. Подобная сеть позволяет на отдельных участках более сложного строения дальнейшее развитие РЗС путем проходки детализационных профилей (рис. 21).

При разведке рассматриваемого типа залежей возможны и другие варианты сетей, отвечающих тем же условиям равномерности расположения точек наблюдений. К ним можно отнести *треугольную сеть,* позволяющую построить равноточные разрезы по трем направлениям. При одинаковом расстоянии между точками пересечения у треугольной сети есть преимущество – расстояние до центра ячейки оказывается меньшим (рис. 22). Но треугольная сеть в практике разведок почти не используется (возможности ее дальнейшего развития отсутствуют).

2. Горизонтальные пластовые и пластообразные залежи, обладающие заметно выраженной в плане протяженностью в одном направлении – более распространенный в природе класс залежей по сравнению с предыдущим, шире охватывающий те же типы осадочных и экзогенных месторождений. Наличие у тел длины и ширины определяет анизотропию их строения. Поперек вытянутости залежей изменчивость выше, вдоль тел – меньше. Условию получения равномерной изученности залежей в данном случае наиболее соответствует *прямоугольная сеть,* стороны которой ориентированы по направлению

длины и ширины тела. Короткая сторона ячейки располагается по ширине, а длинная – вдоль вытянутости объекта (рис. 23). Прямоугольная сеть обладает возможностями ее развития – сгущение на отдельных участках, проходка детализационных профилей.

Примером рассматриваемой группы залежей служат сильно вытянутые извилистые в плане тела лентообразной формы с резко выраженной анизотропией свойств (рис. 24). Геометрически правильная прямоугольная сеть при этом нарушается, и она становится близкой к сети следующего типа.

3. Наклонные залежи с отчетливо выраженными элементами залегания являются наиболее распространенным типом объектов разведки. Их морфология соответствует пластам, пластообразным залежам. Залежи такого типа обладают анизотропией морфологии, условий залегания и внутреннего строения. Разведочная сеть подчинена этим признакам. Применяется система параллельных вертикальных сечений (при выдержанном простирании) или непараллельных (при изменчивом простирании), располагающихся на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 25). Способы развития сети точек наблюдений близки к описанным выше. Например, детализация имеющихся профилей, проходка промежуточных линий и выработок.

4. Для крутопадающих залежей, имеющих облик штоков, характерны сложные виды анизотропии (состава, свойств). В этом случае используется комбинированный способ разведки с применением горных выработок и буровых скважин. В одном из вариантов разведки крутопадающее рудное тело рассекается горными выработками по нескольким горизонтальным сечениям. В каждом сечении проходятся поперечные горные выработки и горизонтальные скважины с целью оконтуривания и изучения залежи (рис. 26).

В учебном пособии (Рудничная…, 1986) приведена более лаконичная систематика разведочных сетей. Выделены две системы разведки – по сетке и параллельным сечениям.

В системе разведки по сетке задействованы правильные разведочные сети – квадратная, прямоугольная, ромбическая. Эти РС применяются для крупных по размерам, простых по морфологии и внутреннему строению рудных тел, залегающих горизонтально или слабо наклонно – пластов, пластообразных тел, штокверков, плащеобразных залежей (рис. 27).

В системе разведки по параллельным сечениям следует выделять: а) горизонтальные сечения для крутопадающих тел сложной формы и строения (трубообразных, линейных оруденелых зон); б) вертикальные сечения для любых по форме тел с переменными углами падения, сложным внутренним строением и глубокозалегающим. Иногда системы горизонтальных и вертикальных сечений могут применяться на одной и той же залежи. Здесь верхняя часть разведуется горизонтальными сечениями (горными выработками в комбинации с подземными скважинами), а глубокие горизонты – скважинами с поверхности и подземным бурением, создающими вертикальные сечения.

Принципиальная схема разведки рудных тел линзообразной формы с использованием горноразведочных работ и буровых скважин отражена на рисунке 28.

Плотность разведочной сети, её обоснование

Обсуждение вопроса о плотности разведочной сети имеет высокую актуальность. С одной стороны, этот вопрос касается детальности изучения объекта, а с другой – связан с

затратами средств и времени. Выбор плотности сети ориентируется на изучение *наиболее изменчивых параметров залежей.* В одних случаях для надежной оценки объема и условий залегания полезных ископаемых используются характеристики изменчивости формы залежей; в других – для оценки качества минерального сырья результаты исследования изменчивости линейных запасов или содержаний.

Разведочная сеть создается в плоскости залежей. Плотность (густота) разведочной сети определяется площадью, приходящей на одно разведочное пересечение. Плотность разведочной сети (R) есть безразмерный показатель – отношение объёма залежи (Q) к объему разведочной ячейки (q), т. е. $R=Q/q$. Однако в практике разведки практически всегда используют параметры, характеризующие расстояние между разведочными пересечениями, как в плоскости разведочных сечений, так и между ними.

Плотность разведочной сети зависит от размеров скоплений полезных ископаемых, сложности их геологического строения, целей разведочных работ, размеров оцениваемых (подсчетных) блоков. Чем гуще РЗС, чем меньше размер ее ячейки, тем большей разрешающей способностью она обладает и тем более глубокий уровень в строении оцениваемых объектов она вскрывает. По мере сгущения РЗС у наблюдаемой изменчивости разведочных параметров меняется соотношение между ее случайной и закономерной составляющими в сторону увеличения последней. Суммарная изменчивость остается постоянной, что выражается в постоянстве величины ее дисперсии при разной густоте РЗС (Шевелев, 2004).

Мерой, определяющей степень сгущения разведочной сети, служит выявляемая доля координированной изменчивости свойств залежей полезных ископаемых. Только при ее наличии правомерна геометризация параметров залежей. Составляющая неслучайной (координированной) изменчивости может быть выявлена и оценена горно-геометрическими и математическими методами.

В практике геологоразведочных работ при оптимизации РЗС задействуют следующие методы (способы):

- аналогии;
- разрежения (сгущения) разведочной сети;
- сравнения данных разведки с данными эксплуатации;
- геометро-статистический;
- совокупность математических методов

и ряд других способов.

Способ аналогии применяется в соответствии с принципом аналогии. Первоначально разведочная сеть принимается по аналогии с другими близкими по геологическому строению объектами. Месторождения должны относиться к одному геолого-промышленному типу. В данном случае задействуется *межобъектная аналогия.* Наибольшее значение способ приобретает на стадии оценочных работ в связи с недостатком сведений о геологическом строении оцениваемого объекта.

Способ базируется на отнесении разведуемого объекта к определенной группе сложности строения и выборе плотности РЗС на основе обобщения данных разведки многочисленных месторождений, приведенных в «Методических указаниях по

применению классификации запасов…», МПР РФ, 2007. Накопленный опыт указывает на определенную условность отнесения объектов к той или иной группе. Индивидуальность объектов является основной причиной ошибок при использовании метода. Чем необычней по строению, составу оцениваемые недра, тем ниже оказывается возможность использования способа аналогии.

В пределах месторождения возможно применение *внутриобъектной аналогии* – использование апробированных разведочных сетей на участках выборочной детализации или в пределах отработанных частей залежей. Способ аналогии является наиболее используемым. Однако в рекомендациях ГКЗ подчеркивается, что он является приближенным и обязательно требует заверки соответствующими экспериментами и расчетами.

Способ разрежения относится к категории экспериментальных. Основан на предположении, что достигнутая на объекте густота сети наблюдений заведомо обеспечивает требуемую точность результатов, что чаще не является бесспорным. Способ сводится к последовательному разрежению исходной разведочной сети в 2, 3, 4 и т. д. раз. По разреженной РС определяются средние параметры разведочного участка, сосредоточенные в них запасы, строятся геологические разрезы. Затем производится их сравнение с «истинными» характеристиками, полученными на основе всех разведочных данных по исходной сети. Обнаруживающиеся различия рассматриваются как погрешности, к которым приводит конкретное разрежение сети. Задавая допустимый уровень погрешности, можно установить минимальную густоту сети, при которой во всех вариантах пространственного расположения точек наблюдений погрешности оценки параметра не превысят допустимого значения. Изменение наблюдаемого облика залежи полезного ископаемого при последовательном разрежении сети точек наблюдений отражено на рисунке 29. В тоже время следует отметить, что способ разрежения, как метод сравнения, следует применять в качестве общетеоретического исследования, а не оперативного средства для оценки сети разведуемого объекта (Шевелев, 2004).

Способ сгущения разведочной сети – экспериментальный способ, имеющий конкретную прикладную направленность. Он применяется в тех случаях, когда имеющаяся сеть точек наблюдений признана недостаточно густой или необходим контроль правильности представлений о геологической модели объекта. При последовательном сгущении сети следует постоянно анализировать изменение представлений о морфологии рудных тел, условиях их залегания и иных геологоразведочных параметров. Одним из показателей достаточности РЗС является однозначная увязка геологических элементов и рудных тел на планах и разрезах.

Следует учитывать, что при каждом сгущении сети имеется только один вариант пространственного положения начального пункта сети. Для этого варианта определяется среднее значение исследуемого параметра и вероятная погрешность его оценки. Достаточной признается такая густота сети, которая обеспечивает погрешности ниже допустимой, а увязка данных по соседним разведочным выработкам становится однозначной.

Способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации заключается в сравнении разведочной модели недр с наиболее достоверной, основанной на наиболее детальном изучении недр в процессе эксплуатационных работ. Различие, которое при этом фиксируется, рассматривается как показатель, оценивающий правильность и точность разведки (Комплексная ГЭО…, 1990; Сборник нормативно-методических документов…, 1998, Шевелев, 2004). Данные разведки и отработки сопоставляются в контурах запасов, ранее прошедших экспертизу в ГКЗ РФ, с учетом отработки запасов за пределами этих контуров

Сравнению подлежат запасы полезного ископаемого и их компонентов, все подсчетные параметры (мощность тел полезных ископаемых, содержание полезных и вредных компонентов, объемная масса, площадь тела полезного ископаемого, коэффициент рудоносности и т. д.).

При сопоставлении должны анализироваться не только параметры и общие цифры запасов, но и выявленные изменения в представлениях об особенностях геологического строения месторождения; анализируется их влияние на количество и качество запасов полезного ископаемого. Должны вскрываться причины расхождений сопоставляемых данных разведки и отработки. Должна быть доказана достоверность данных эксплуатационной разведки, эксплуатационного опробования очистных выработок, геолого-маркшейдерского и фабричного учета, достоверность учета потерь и разубоживания (рис. 2, 30, 31).

Необходимо отметить, что результаты эксплуатации месторождения нельзя рассматривать как безошибочные. При разработке месторождения не всегда полностью учитываются потери и разубоживание минерального сырья, а это искажает представление о морфологии и качестве тел полезных ископаемых. Подготовительные и очистные работы часто не проводятся в тектонически сложных зонах, на участках размыва залежей, их расщепления или выклинивания, что снижает достоверность собранных сведений. Поэтому на практике применение способа чаще ведется путем сравнения не с данными добычи, а с результатами эксплуатационного опробования.

В результате сопоставления данных разведки и разработки даются рекомендации, направленные на повышение достоверности исходных разведочных данных, методики разведки, оконтуривания и подсчета запасов.

Геометро-статистический способ имеет достаточно надежный и относительно простой математический аппарат, широкий диапазон применения. Возможности использования метода для решения комплекса горно-геологических задач рассмотрены ранее (см. раздел 11.3). Здесь приведена методика решения лишь одной задачи – определения рациональной плотности разведочной сети.

Для решения прикладных геологоразведочных задач обычно используют данные эксплуатационной разведки. Подбор данных проводится на профилях, ориентированных по простиранию и падению рудных тел. Размеры между точками наблюдений соответствуют расстояниям между точками отбора проб в горных выработках или скважинах. Длина профилей соответствует параметрам рудных тел по исследуемым направлениям. Обработка материалов заключается в построении одномерных графиков изменчивости геологических

параметров в системе координат: содержание полезного компонента (мощность залежи) – расстояние. Затем проводится выравнивание (сглаживание) исходных данных, оценка уровненного строения, частотных и амплитудных характеристик изучаемых полей (геохимических, морфометрических).

Для обоснования плотности и геометрии разведочной сети применяется *способ геометрической автокорреляции,* соответствующий геометро-статистической модели (Рудничная…, 1986; Петруха, 2003). Способ позволяет вычислять значение радиуса геометрической автокорреляции (R_q, м) после выравнивания исходных данных по формуле: $R_q=L(1+2K_q)^{-1}$, *где* L – длина участка аппроксимации (исследуемого профиля), м; K_q – количество экстремальных значений аппроксимирующей поле функции на профиле; q – структурный уровень. Оптимальный шаг разведки принимается равным среднему значению радиуса геометрической автокорреляции, вычисленному по сечениям рудного тела (по простиранию и падению).

Геометро-статистическая модель используется для установления связи между уровнями частотной изменчивости параметра (R_q) и категориями разведанных запасов. Применение модели оправдано при преобладании закономерной составляющей изменчивости признака над случайной составляющей или при их равных соотношениях.

Обоснование оптимальной плотности разведочной сети для медноколчеданных месторождений Урала, выполненное Л. М. Петрухой (1991), позволило установить, что распределение меди, цинка, серы в рудных телах месторождений в основном изометричное. Оценка анизотропии (A) изменчивости геологоразведочных параметров, определенной как соотношение значений (R_q) по простиранию и падению рудных тел ($A=R_{q1} / R_{q2}$), показала, что среднее значение A=1,1, т. е. близко к единице. В связи с этим разведочная сеть на медноколчеданных месторождениях должна быть квадратной, а не прямоугольной (как это отражено в Методических рекомендациях ГКЗ).

Обоснование плотности разведочной сети с использованием аппарата стационарной случайной функции и геостатистической модели рассмотрены ранее (см. раздел 11.3).

Контрольные вопросы к теме 3

1. Принципы разведки. Для чего они разработаны?
2. В чем заключается принцип последовательных приближений?
3. Как реализуется принцип аналогии?
4. В чем заключается принцип максимальной эффективности?
5. На какие этапы и стадии подразделяется процесс геологического изучения недр?
6. На какой стадии геологоразведочных работ рудопроявление переходит в разряд месторождений?
7. Что такое – месторождение оценённое, месторождение разведанное?
8. Какой документ подготавливается по результатам разведки месторождения? Каково его содержание?
9. Какие виды горных выработок применяются при разведке? Охарактеризуйте условия их применения.
10. Перечислите преимущества и недостатки применения при разведке буровых скважин.

11. Какие геофизические методы применяются при изучении поверхности месторождений?
12. Какие задачи при разведке позволяет решать каротаж скважин?
13. Какие данные позволяют получить применение геофизических методов при изучении межскважинного пространства?
14. Что такое система разведки?
15. Типы разведочных сетей.
16. Плотность разведочной сети; какие факторы определяют ее обоснование?
17. В чем сущность способов аналогии и разрежения при обосновании плотности разведочной сети?
18. Как осуществляется сопоставление данных разведки и эксплуатации при обосновании плотности сети наблюдений?
19. Что лежит в основе математических методов обоснования плотности разведочной сети (статистического, геометро-статистического, геостатистического и др.)?

Тема 4
Подсчет запасов полезных ископаемых

КОНДИЦИИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Кондиции на минеральное сырье представляют собой совокупность требований к качеству и количеству полезных ископаемых, горно-геологическим и иным условиям их разработки, обеспечивающим наиболее полное комплексное и безопасное использование недр на рациональной экономической основе с учетом экологических последствий эксплуатации месторождения (Методические рекомендации…, 2007; Временное руководство…, 1997). Кондиции – это основной инструмент геолого-экономической оценки месторождений. Они разрабатываются и уточняются в процессе геолого-экономической оценки месторождений по материалам их разведки и эксплуатации на основе специального технико-экономического обоснования (ТЭО).

Для подсчета запасов рудных месторождений, а также отдельных видов нерудного сырья (горно-химического, плавикового шпата, барита, графита, талька, асбеста, слюды), кондиции могут включать следующие параметры:

- бортовое содержание компонента в пробе или условия оконтуривания рудных тел в геологических границах;
- минимальное содержание компонента в краевой выработке;
- минимальное промышленное содержание компонента в подсчетном блоке, запасы которого относятся к балансовым;
- коэффициенты приведения содержания попутных компонентов к основному в комплексных рудах и минимальное их содержание, учитываемое при приведении;
- максимально допустимое содержание вредных примесей в краевой пробе, оконтуривающей выработке и по месторождению;
- минимальная мощность тел полезного ископаемого или минимальный метропроцент (метрограмм);
- максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;
- минимальный коэффициент рудоносности для месторождений с прерывистым и гнездовым распределением полезных компонентов;
- минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым.

По остальным типам месторождений полезных ископаемых (карбонатные породы, магнезиты, дуниты, цементное сырье и другие) кондиции для подсчета запасов включают:

- требования к качеству полезного ископаемого (или получаемой из него продукции) в соответствии с действующими стандартами и техническими условиями или обусловленными результатами технологических испытаний;
- условия подсчета запасов по сортам (классам, маркам) конечной продукции;
- минимальную мощность тела полезного ископаемого;
- максимально допустимую мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;

- минимальный выход конечной продукции.

Для каждого месторождения, в зависимости от геологического строения, горно-технических условий разработки и требований промышленности к качеству минерального сырья, учитывают только те их перечисленных параметров, которые необходимы для геолого-экономической оценки его промышленного назначения.

Рассмотрим важнейшие кондиционные показатели.

Бортовое содержание – это наименьшее содержание полезных компонентов в пробах, включенных в подсчет запасов, при оконтуривании по мощности тела полезного ископаемого в случае отсутствия четких геологических границ. Оно должно отвечать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. В комплексных месторождениях бортовое содержание выражается суммой содержаний полезных компонентов, имеющих промышленное значение. Эта сумма должна быть приведена к содержанию условного основного компонента, имеющего максимальную извлекаемую стоимость. Примеры оконтуривания месторождений при различных вариантах бортового содержания приведены на рисунках (рис. 32, 33).

Бортовое содержание определяется на основе повариантных подсчетов запасов. В качестве исходного варианта целесообразно применять бортовое содержание месторождения, аналогичного оцениваемому (по типу оруденения, размерам, морфологии рудных тел, вещественному составу руд, условиям разработки). Варианты с более высокими или низкими бортовыми содержаниями следует подбирать таким образом, чтобы разница в запасах руды, подсчитываемых при снижении (повышении) бортовых содержаний, составляла, как правило, не менее 10 % от общих запасов ближайшего варианта. Количество вариантов обычно не превышает 5 и чаще всего ограничивается значением 3. В случаях, когда сведения о бортовом содержании на аналогичном месторождении отсутствуют, первоначальную ориентировочную величину этого параметра в качестве исходного варианта определяют аналитическим путем, исходя из цены полезного компонента, коэффициента сквозного извлечения, разубоживания при добыче, удельных затрат на добычу и переработку. Последние определяются, исходя из укрупненных показателей намеченных систем добычи и переработки полезных ископаемых и предполагаемого масштаба месторождения. Для аналитического выражения бортового содержания применяются следующие формулы:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{борт} = [(З_д + З_о) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_д$ и $З_о$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $Ц_к$ – цена 1 т полезного компонента в концентрате без налога на добавленную стоимость (НДС), руб.; $И_о$ – коэффициент извлечения при обогащении, доли ед.; р – разубоживание при добыче, доли ед.;

б) при ценах на товарные концентраты ($Ц_к$) с установленным в них содержанием ($С_к$) полезного компонента:

$$С_{борт} = [((З_д + З_о) \cdot С_к) / (Ц_к \cdot И_о \text{ x } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Оконтуривание рудных тел в соответствии с вычисленной величиной бортового содержания и подсчет запасов позволяют установить, какова будет экономическая

эффективность разработки месторождения, а также наметить величину прочих вариантов бортового содержания. При этом верхний предел бортового содержания не должен быть выше минимального промышленного содержания, подсчитанного с учетом налогов, платежей и отчислений; нижний предел бортового содержания не должен быть ниже уровня содержаний, при которых полезный компонент не извлекается в товарную продукцию.

Минимальное содержание компонента в краевой выработке устанавливается в тех случаях, когда выявлено закономерное снижение содержаний полезных компонентов в краевых частях рудного тела. Оконтуривание рудных тел в соответствии с минимальным содержанием в краевых выработках должно соответствовать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. Это минимальное содержание определяется вариантным способом.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке – это содержание, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение всех затрат и получение минимальной установленной прибыли.

Минимальное промышленное содержание без учета налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_у$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $К_у$ – удельные капитальные вложения в строительство горнопромышленного предприятия, руб.; Е – учетная ставка банка, доли ед.; при отсутствии инфляции принимается 5-6 %;

б) при ценах на товарные концентраты:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) \cdot С_к] / [(Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Минимальное промышленное содержание с учетом налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) / (Ц_к \cdot И_о \text{ х } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%\ ,$$

где $З_{ун}$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды с учетом налогов, которые входят в структуру эксплуатационных затрат; $Н_у$ – налоги, платежи, отчисления на прибыль в расчете на 1 т годовой добычи руды;

б) при ценах на товарные концентраты

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) \cdot С_к / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Приведенное содержание полезных компонентов комплексных руд к содержанию условного компонента осуществляется с использованием переводных коэффициентов. Эти коэффициенты определяются исходя из соотношения цен полезных компонентов и коэффициентов извлечения при обогащении руд. Минимальное содержание, учитываемое при приведении к содержанию условного компонента, принимается равным содержанию, при котором минеральное образование не извлекается при принятой технологии обогащения:

$$К_{пр} = (Ц_п \cdot И_п) / (Ц_о \cdot И_о),$$

где $Ц_о$ и $Ц_п$ – цена 1 т основного и попутного компонента в концентрате, руб.; $И_о$ и $И_п$ – соответственно их коэффициенты извлечения, доли ед.

Максимальные допустимые содержания вредных примесей у полезных ископаемых, используемых без обогащения, устанавливаются в пробе или в интервале разведочной выработки в соответствии с требованиями промышленности. Если при отработке месторождения предусматривается усреднение добытого минерального сырья, максимально допустимое содержание вредных примесей может быть установлено для подсчетного блока. При обогащении полезного ископаемого, когда вредные примеси полностью или частично переходят в концентрат и не извлекаются из него в дальнейшем, соответствующие ограничения вводятся для подсчетного блока. В случае, когда для удаления вредных примесей из концентрата требуется дополнительная переработка, их содержание в подсчетном блоке учитывается через величину минимального промышленного содержания полезного компонента.

Минимальная мощность полезного ископаемого и *максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных полезных ископаемых* устанавливается исходя из принятого способа и системы разработки месторождения. Целесообразность отработки рудных тел меньшей мощности, но с повышенным содержанием полезных компонентов, определяется по *метропроценту* (*метрограмму*) исходя из установленной минимальной мощности тела полезного ископаемого и бортового содержания.

В случае сложного строения рудных тел, когда рудные интервалы чередуются с безрудными, для уточнения величины максимально допустимой мощности прослоев пустых пород и некондиционных руд проводится подсчет запасов при разной мощности этих слоев по каждому из оцениваемых вариантов бортового содержания. Оценка влияния прослоев на размеры и форму рудных тел и последующую эффективность добычи и переработки полезного ископаемого позволяет установить оптимальную величину этого параметра кондиций.

Коэффициент рудоносности применяется в случае невозможности выделить и оконтурить в процессе геологоразведочных работ отдельные рудные тела. Минимальная величина коэффициента рудоносности устанавливается для подсчетного блока, исходя из минимально приемлемой рентабельности разработки месторождения, при определении которой наряду с общепринятыми затратами учитываются дополнительные, связанные с доразведкой и оконтуриванием рудных тел и их селективной выемкой.

Минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым ($Q_{мин}$), устанавливаются исходя из дополнительных расходов, связанных с их вскрытием и отработкой, по формуле:

$$Q_{мин} = [К_д \cdot (1\text{-}р)] / [(Ц_{из} – З_{ун} – Н_у – К_д \cdot Е) \cdot (1\text{-}п)],$$

где $К_д$ – капитальные вложения, необходимые на проходку дополнительных вскрышных выработок, руб.; $Ц_{из}$ – извлекаемая в концентрат ценность полезных компонентов из 1 т руды, руб.; п – потери при добыче, доли ед.

ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАПАСОВ

Оконтуривание является одной из самых ответственных операций при подсчете запасов. Оно заключается в ограничении рудных тел или их разведанных участков на площади и в разрезе.

Оконтуривание запасов ведется по промышленным кондициям. Запасы оконтуриваются по трем направлениям: *мощности, простиранию и падению* рудной залежи. Исходными материалами для оконтуривания служат данные геологической документации и результаты опробования.

Контур может представлять собой: 1) естественные границы рудных тел; 2) линию с бортовым содержанием; 3) линию с нулевым содержанием полезного компонента; 4) линию с минимальной промышленной мощностью рудного тела; 5) линии разных типов и сортов руд; 6) линии, разграничивающие запасы разных категорий; 7) линии участков с разными условиями вскрытия и разработки; 8) линии предельного содержания вредных примесей. Некоторые типы контуров приведены на рисунках 34, 35.

Если тело не имеет естественных природных границ, его оконтуривают чаще всего по бортовому содержанию или по минимальной промышленной мощности.

При оконтуривании запасов различают внутренний и внешний контуры. *Внутренний контур* – линия, соединяющая крайние точки с кондиционными содержанием и мощностью; *внешний контур* – линия, проведенная за пределами этих точек по более низким (некондиционным) показателям. Площадь между внутренним и внешним контурами принято называть *межконтурной полосой* (рис. 36).

Оконтуривание начинается с определения *опорных точек,* через которые затем проводится линия контура. Положение опорных точек устанавливают методами интерполяции и экстраполяции. *Метод интерполяции* заключается в определении мощности или содержания между смежными выработками. *Метод экстраполяции* состоит в определении мощности или содержания за пределами выработок. Различают *ограниченную экстраполяцию,* когда внешняя контурная линия проводится между рудной и безрудной точками, и *неограниченную экстраполяцию*, когда эта линия проводится за пределами контура выработок, где данные о параметрах рудного тела отсутствуют.

Положение опорной точки между двумя пробами определяется с помощью интерполяции, если содержание полезного компонента изменяется закономерно, то есть переход между рудой и вмещающими породами постепенный. При незакономерном изменении содержания промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами с кондиционным и некондиционным содержанием или даже через крайнюю кондиционную пробу. Положение опорной точки при экстраполяции принимается на половине, трети или четверти расстояния между выработками или определяется по естественным формам выклинивания рудных тел.

Для полого залегающих плоских изометричных тел площадь оконтуривается в плане, для крутопадающих плоских тел – на продольных разрезах и вертикальных проекциях. Для крутопадающих тел с выдержанными углами падения оконтуривание площади иногда проводят на проекции, параллельной плоскости падения.

Как во внутренних, так и во внешних контурах, производится блокировка запасов по категориям, типам и сортам руд, условиям залегания, вскрытия, разработки и т. д.

Вначале оконтуривание выполняется по отдельным выработкам, затем по отдельным разведочным сечениям (вертикальным или горизонтальным) и только потом в целом по рудному телу.

*Оконтуривание рудных тел в пределах отдельных разведочных выработок з*ависит от их ориентировки относительно рудного тела. В *секущих* выработках при наличии четких геологических контактов с вмещающими породами границы тела определяются по данным непосредственных наблюдений в забое горных выработок или по керну буровых скважин. При отсутствии четких геологических контактов границы тела полезного ископаемого определяются по результатам опробования и проводятся между породами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента. При этом возможны 2 случая: а) если опробование выполнено сплошной бороздой, контур тела проводится по границе последней пробы, показавшей кондиционное содержание; б) если опробование проводится с интервалом между пробами, то границы промышленной части тела проводят между пробами способом интерполяции.

При незакономерном изменении содержания полезного компонента промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента (рис. 37).

В *прослеживающих* выработках кроме распределения полезного компонента необходимо учитывать и характер выклинивания рудного тела. При резком выклинивании контур проводится по данным непосредственных наблюдений. При постепенном выклинивании учитывается характер изменения содержания и мощности.

Если содержание полезного компонента снижается постепенно, а мощность остается постоянной, то оконтуривание производится по содержанию. Здесь существуют те же два варианта, что и для секущих выработок: при опробовании сплошной бороздой контур проводят через границу последней кондиционной пробы, а при поинтервальном опробовании – методом интерполяции по приведенной выше формуле.

Если наблюдается постепенное уменьшение мощности тела, а содержание остается постоянным, то контур проводится либо по мощности, либо по метропроценту (метрограмму). Граница промышленной части тела определяется по следующим формулам:

$$X=L(M_{мин}-M_B)/(M_A-M_B),$$

где X – расстояние от точки B с некондиционной пробой пробы до контура тела; L – расстояние между кондиционной (A) и некондиционной (B) пробами; M_A и M_B –мощности тела соответственно в точках A и B; $M_{мин}$ – минимальная мощность, установленная кондициями;

$$X=L(M\%_{мин} - M\%_B)/(M\%_A - M\%_B),$$

где $M\%_{мин}$ – минимальный метропроцент, установленный кондициями; $M\%_A$ и $M\%_B$ – значение метропроцента соответственно в точках A и B.

Положение контура тела может быть намечено также по данным непосредственных замеров мощности в выработках.

Наконец, при одновременном уменьшении мощности тела и содержания полезного компонента оконтуривание производится по минимальному метропроценту (метрограмму).

Положение контура тела между двумя точками можно определять также графическим способом или специальной палеткой (транспарантом).

Учитывая, что расстояния между пробами обычно небольшие, особенно для руд цветных, редких металлов и золота, нередко поступают проще: проводят контур посередине между кондиционной и некондиционной пробами.

Оконтуривание тел полезных ископаемых по совокупности разведочных выработок производится на планах, разрезах или проекциях. При этом различают 3 случая проведения контура: 1) по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках; 2) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными; 3) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – отсутствием полезного ископаемого.

Проведение контура по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках, выполняется двумя путями. При наличии четких геологических границ рудных тел опорные точки наносятся на планы, разрезы или проекции по данным непосредственных замеров в выработках (рис. 38). При отсутствии четких границ опорные точки определяются в пределах каждой выработки по данным химических анализов описанными выше способами. Оконтуривание состоит в соединении опорных точек.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными, производится в зависимости от характера распределения полезного компонента. При равномерном распределении и постепенном изменении содержания полезного компонента опорные точки определяются рассмотренным выше способом интерполяции с использованием приведенных формул, графически или с помощью палетки. При неравномерном распределении полезного компонента или неравномерном изменении мощности контур обычно проводят через середину расстояния между выработкой с кондиционными и выработкой с некондиционными показателями. На месторождениях с крайне неравномерным распределением полезного компонента контур рудного тела часто проводят через крайние кондиционные выработки.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, а другая фиксирует полное отсутствие тела полезного ископаемого, осуществляется в зависимости от характера выклинивания тела. При резком выклинивании промышленный контур проводят через середину расстояния между выработками, то есть способом ограниченной экстраполяции. Кондиционная мощность тела, вскрытая выработкой, распространяется до середины расстояния между выработками. При закономерном, постепенном выклинивании рудного тела нулевой контур также проводят через середину расстояния между выработками, а положение подсчетного контура определяется способом интерполяции между выработкой с промышленной концентрацией полезного ископаемого и принятым нулевым контуром (рис. 39).

Описанные приемы оконтуривания тел обычно применяются для определения положения контура не только между разведочными выработками (рис. 40), но и между разведочными разрезами (линиями).

Определение контуров тел полезных ископаемых за пределами разведочных выработок, или неограниченная экстраполяция, практикуется для запасов низких категорий C_1 и C_2, подлежащих дальнейшей разведке. При оконтуривании используются разнообразные геологические, морфологические, геофизические, статистические и геометрические приемы.

ПАРАМЕТРЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Подсчет запасов полезных ископаемых в общем случае осуществляется по следующей схеме:

1) определяется объем залежи V как произведение площади S на среднюю мощность M: $V = S \cdot M$;

2) определяется запас руды Q как произведение объема V на объемную массу D: $Q = V \cdot D$, при этом обязательно учитывается естественная влажность руд;

3) определяется запас металла P как произведение запаса руды Q на среднее содержание металла C: $P = Q \cdot C \cdot 10^{-2}$, если содержание выражено в %, или $P = Q \cdot C \cdot 10^{-6}$, если в г/т.

Для одних полезных ископаемых (многие виды строительных материалов, природный газ, а в западных странах и нефть) подсчет запасов останавливается на вычислении объема. Количество некоторых иных видов сырья (железные руды, хромиты и др.) подсчитываются в виде запасов руды. Для большинства рудных элементов требуется расчет запасов металла.

Из приведенной схемы видно, что основными параметрами, необходимыми для подсчета запасов, являются площадь, средняя мощность, объемная масса руды и среднее содержание в ней полезных компонентов. Кроме того, могут использоваться разные поправочные коэффициенты.

Площадь устанавливается в результате оконтуривания рудных тел на планах и проекциях. Простые по конфигурации площади измеряются как геометрические фигуры, сложные – с помощью палетки, планиметра или курвиметра. В современных условиях площадь определяется с помощью компьютерных программ.

При наклонном залегании тела полезного ископаемого необходимо привести полученный замер площади к истинному значению, для чего вводят поправку на угол падения залежи β для замеров на плане по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \cos\beta,$$

для замеров на вертикальной проекции по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \sin\beta.$$

Мощность тела полезного ископаемого в пределах контура подсчета запасов определяется по данным горных и буровых работ, а также каротажа скважин. Если рудные тела имеют четкие геологические границы с вмещающими породами, их мощность устанавливается непосредственно с помощью замеров. Если четких геологических контуров нет, мощность рассчитывают по результатам секционного опробования по бортовому или минимальному промышленному содержанию полезного компонента.

В горных выработках мощность определяют замером расстояния от кровли до подошвы залежи при их документации и опробовании. Мощность рудных тел по данным бурения устанавливают прямыми или косвенными способами. Прямой способ – это расчет

мощности по керну при колонковом бурении и по данным опробования шлама при ударном бурении, косвенные – по данным каротажа скважин или по наблюдениям в процессе бурения за изменением скорости углубки скважин, за цветом или составом шлама.

Разведочные выработки часто пересекают тело полезного ископаемого не по истинной мощности, а под некоторым углом. При пологом залегании замеряется вертикальная мощность $M_в$, при крутом падении – горизонтальная $M_г$. По керну или геофизическим данным мощность определяется длиной рудного интервала $M_{скв}$. Эти так называемые наблюдаемые мощности отличаются от истинной мощности $M_{ист}$ и приводятся к ней по геометрическим формулам (рис. 41):

$$M_{ист.} = M_г \cdot \mathrm{Sin}\alpha,$$

$$M_{ист.} = M_в \cdot \mathrm{Cos}\alpha;$$

$$M_{ист.} = M_{скв.} \cdot \mathrm{Cos}(\alpha\text{-}\beta) \cdot \mathrm{Cos}\gamma,$$

где α – угол падения залежи, β – зенитный угол наклона скважины в месте пересечения залежи; γ – угол между азимутальным направлением скважины и азимутом падения залежи.

Среднее значение мощности определяется среднеарифметическим или средневзвешенным способом. Метод среднего арифметического применяют при более или менее равномерном распределении пунктов замера мощностей. В этом случае средняя мощность M определяется по формуле:

$$M = \sum m / n,$$

где n – количество замеров мощности.

Способ средневзвешенного применяется при резко неравномерном распределении точек замера и установленном направлении закономерностей изменчивости мощности. Средневзвешенная мощность рассчитывается по формуле:

$$M=\sum m \cdot l / \Sigma l,$$

где l – расстояние, на которое распространяется влияние значения данного замера мощности.

Объемная масса руды должна быть установлена с учетом естественной пористости, трещиноватости и кавернозности полезного ископаемого. Она определяется лабораторным или полевым способами. При применении лабораторного способа объемная масса определяется путем взвешивания образцов, покрытых пленкой парафина, в воздухе и в воде или взвешиванием и определением их объема в мерном сосуде. При полевом способе проходится горная выработка и вся добытая горная масса взвешивается, а пройденное пространство замеряется. Соотношение массы полезного ископаемого и объема даст объемную массу. Считается, что для определения объемной массы этим способом достаточно 10 м^3 полезного ископаемого. Этот способ более точный.

Объемная масса должна определяться для каждого сорта и типа полезного ископаемого, запасы которых учитываются самостоятельно. Количество определений объемной массы должно быть достаточным для надежного обоснования средних величин. Считается, что для однообразных по сложению полезных ископаемых достаточно 10-20, а для более сложных 20-30 определений объемной массы типичного материала для каждого сорта полезного ископаемого.

При этом обязательно учитывается *естественная влажность руды*, которая может достигать у отдельных полезных ископаемых 30-40 % и более. Учет естественной влажности необходим в связи с тем, что анализы проводятся с сухими навесками после просушивания проб при 105-110 ºС, а содержание полезных компонентов определяется для воздушно-сухой массы. Поэтому необходима поправка в содержание на влажность руды по формуле:

$$C_{вл.} = C_{сух.} \cdot (100 - B) / 100,$$

где $C_{вл.}$ – содержание полезного компонента по влажной руды, % или г/т; $C_{сух.}$ – то же в сухой руде; В – влажность, при которой определена объемная масса, %.

Чаще пересчитывают не содержание на сырую руду, а объемную массу сырой руды $D_{вл.}$ на сухую $D_{сух.}$ по формуле:

$$D_{сух.} = D_{вл.} \cdot (100 - B) / 100.$$

Естественная влажность определяется как отношение потери массы штуфа в результате высушивания к массе влажного образца и вычисляется путем сравнения массы проб влажного минерального сырья $Q_{вл.}$ с массой тех же проб, просушенных до постоянной массы при 105-110 ºС, $Q_{сух.}$, по формуле:

$$B = 100 \cdot (1 - Q_{сух.} / Q_{вл.}).$$

Необходимо учитывать, что влажность не является величиной постоянной и изменяется в зависимости от глубины залегания полезного ископаемого, времени года, уровня грунтовых вод и др.

Среднее содержание определяется как среднеарифметическое или средневзвешенное по скважине, выработке, горизонту, блоку, участку и месторождению в целом. Чаще всего применяют среднее содержание, взвешенное на длину проб, то есть на их мощность.

Поправочные коэффициенты вводятся для *уменьшения запасов* при прерывистом (дискретном) оруденении, разобщенности рудных тел, наличии безрудных даек, участков пустых пород, валунов и т. п. Коэффициенты для *увеличения запасов* применяются при избирательном выкрашивании рудных компонентов из керна, при намыве ценных компонентов при разработке россыпей. Могут вводиться поправочные коэффициенты на систематические погрешности химанализов, замеров мощностей в скважинах и др.

МЕТОДЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Существует довольно много разных методов подсчета запасов. Все они основаны на определении объема подсчетных контуров, которые сравниваются с равновеликими геометрическими фигурами. Запасы подсчитываются по простейшим формулам:

$$V = S \cdot m,\ Q = V \cdot d,\ P = Q \cdot C / 100,$$

где V – объем тела полезных ископаемых, S – площадь тела на проекции, m – средняя мощность, Q – запасы руды, d – объемная масса руды, C – среднее содержание полезного компонента в %.

Наибольшим распространением пользуются методы геологических и эксплуатационных блоков, разрезов и статистический.

Метод геологических блоков является универсальным для подсчета запасов плоских тел. При этом методе выделяют блоки разной величины, отличающиеся по степени разведанности, мощности, содержанию полезных компонентов, типам и сортам руд, технологическим свойствам, гидрогеологическим и горнотехническим условиям (рис. 42).

Частным случаем этого метода является *метод среднего арифметического,* когда все тело рассматривается как один подсчетный блок.

Метод эксплуатационных блоков применяется также для подсчета запасов плоских тел, разделенных горными выработками и буровыми скважинами на эксплуатационные блоки. Оконтуривание и подсчет запасов по каждому блоку аналогично методу геологических блоков (рис. 43).

Метод разрезов применяют для подсчета запасов изометричных, трудообразных и сложных по форме тел (рис. 44, 45). Разрезы могут быть *вертикальными* или *горизонтальными*. Заключенная между смежными разрезами часть рудного тела рассматривается как призма, если площади смежных сечений близки, или как пирамида, если эти сечения существенно различаются по площади. Объем части рудного тела между двумя разрезами определяется соответственно по формуле для призмы или пирамиды. Объем крайних блоков, каждый из которых опирается на один разрез, определяется по формуле клина. При непараллельных разрезах вносятся соответствующие поправки к подсчету объемов. Среднее содержание определяют вначале для каждого разреза. В блоке, ограниченном двумя разрезами, оно вычисляется как среднеарифметическое или средневзвешенное на площадь сечения.

При крайне дискретном оруденении подсчет запасов проводят *статистическими методами*. Это относится в основном к месторождениям IV группы, когда совмещаются разведка и эксплуатация. По результатам этих работ оценивается средняя продуктивность исследуемого участка и распространяется на менее изученную потенциально рудоносную часть месторождения.

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ СОПУТСТВУЮЩИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

К попутным полезным ископаемым относятся минеральные комплексы (горные породы, руды, подземные воды, рассолы), добыча которых при разработке основного полезного ископаемого экономически целесообразна. К *попутным компонентам* относятся заключенные в полезных ископаемых минералы, металлы и другие химические элементы в их соединениях, которые не имеют определяющего значения для промышленной оценки месторождения, но при переработке полезных ископаемых могут быть рентабельно извлечены и реализованы на внутреннем или международном рынке.

Попутные полезные ископаемые и компоненты в зависимости от форм нахождения, связи с основными для данного месторождения полезными ископаемыми и компонентами и с учетом требований, предъявляемых промышленностью к условиям их разработки (извлечения), разделяются на три группы (Шевелев, 2004). *К первой группе* относятся попутные полезные ископаемые, образующие самостоятельные пласты, залежи или рудные тела в породах, вмещающих основные рудные тела:

- железные руды на марганцевых месторождениях;

- серный колчедан, барит-полиметаллические руды, золотосодержащие кварциты на медноколчеданных месторождениях;
- свинцовые и медно-свинцовые руды на месторождениях медистых песчаников;
- огнеупорные глины, каолины на месторождениях бокситов и угля и др.

К этой же группе относятся вскрышные породы, по составу и свойствам пригодные для производства строительных материалов или для других целей, а также торф и в некоторых случаях почвенно-растительный слой и породы, пригодные для использования в сельском хозяйстве.

К жидким попутным полезным ископаемым относятся подземные воды, участвующие в обводнении подземных горных выработок, если они пригодны для водоснабжения, извлечения из них ценных компонентов или бальнеологических целей.

Ко второй группе относятся попутные компоненты, образующие собственные минералы, которые при обогащении могут быть выделены в самостоятельные концентраты или промпродукты, а в отдельных случаях накапливающиеся в продуктах обогащения основных компонентов в количестве, допускающем их последующее извлечение на экономически рациональной основе.

В эту группу могут быть объединены:
- титановые, медные и ванадийсодержащие минералы, золото- и кобальтсодержащий пирит, иногда апатит, гатчеттолит, бадделеит в железных рудах;
- сера (пирит и другие сульфиды), минералы свинца, цинка, серебра, самородное золото, кобальтсодержащий пирит в медноколчеданных рудах;
- молибденит в меднопорфировых месторождениях в гранитоидах, ванадийсодержащие минералы, апатит, титаномагнетит – в габброидах;
- минералы кобальта и серебра в медно-никелевых месторождениях;
- минералы меди, висмута, серебра, барит, флюорит в полиметаллических рудах и др.

К третьей группе относятся разного рода примеси в минералах основных и попутных компонентов (изоморфные, механические, микровключения собственных минералов и др.), а также органические, металлические или металлоорганические соединения в углях и углистых породах. Преобладающую часть попутных компонентов третьей группы составляют рассеянные элементы, широко распространенных в разных твердых полезных ископаемых при весьма низком содержании. К этой же группе относятся примеси в рудных минералах золота, серебра, платиноидов, тантала, молибдена и др.

При обогащении полезных ископаемых эти компоненты накапливаются в концентратах основных компонентов, а при переработке концентратов или непосредственном использовании полезных ископаемых в металлургическом, химическом, энергетическом и других производствах концентрируются в товарных продуктах или отходах.

К этой же группе относятся попутные компоненты, присутствующие в нефти и газе и выделяемые лишь при их переработке, а также заключенные в подземных минерализованных водах или рассолах. Состав попутных компонентов третьей группы зависит от вида полезного ископаемого и типа руд.

В полиметаллических рудах присутствует сурьма, кадмий, теллур, таллий, галлий, иногда германий.

Медноколчеданные руды обычно содержат селен, кадмий, теллур, реже таллий, индий, иногда кобальт, висмут, галлий и германий. В медистых песчаниках присутствует рений, реже германий, селен и таллий. В медно-никелевых рудах содержатся платиноиды, кобальт, сера, селен, теллур, таллий, галлий, германий.

Для медно-молибденовых руд характерно присутствие рения, селена, теллура, в меньшей степени индия, германия и галлия. Высокими концентрациями рения и низкими селена, теллура, германия и галлия характеризуются молибденовые руды.

Сульфидно-касситеритовым рудам обычно свойственны повышенные концентрации индия, кварц-касситеритовым и вольфрамитовым – скандия, иногда тантала. В кварц-золоторудных месторождениях нередко присутствует теллур, а в золотосульфидных – индий, кадмий, селен, теллур и платина.

Бокситы содержат галлий, ванадий, скандий, алуниты и нефелины – галлий и ванадий. Иногда в алюминиевом сырье в небольшом количестве содержится германий. В месторождениях калийных солей присутствует бром и рубидий, иногда цезий, в некоторых месторождениях каменной соли – литий.

В апатит-нефелиновых рудах содержится титан, галлий, стронций, редкие земли.

Угли и углистые породы могут содержать повышенное содержание германия, урана, галлия, реже – ванадия и рения. В подземных водах наряду с йодом и бромом присутствуют соединения магния, калия, бора, иногда лития, рубидия, цезия, стронция, германия и другие компоненты.

Изучение и геолого-экономическая оценка попутных полезных ископаемых и компонентов производится на всех стадиях геологоразведочных работ и в процессе освоения месторождения.

Запасы попутных полезных ископаемых (компонентов руд) должны подсчитываться способом, отвечающим характеру их залегания в месторождении или распределения в рудах, также учитывающим особенности промышленного использования запасов, которые определяют уровень и показатели их оценки.

При подсчете запасов попутных полезных ископаемых первой группы, образующих самостоятельные рудные и нерудные залежи во вскрыше месторождений, используются способы, применяемые при подсчете запасов аналогичных видов сырья в самостоятельных месторождениях.

Подсчет запасов попутных компонентов второй группы осуществляется в контурах запасов основного полезного ископаемого в соответствии с существующими для них требованиями. Для их изучения и оценки проводятся специальные минералого-геохимические исследования руд и отбираются групповые пробы.

Запасы попутных компонентов третьей группы подсчитываются и учитываются в месторождениях, целесообразность промышленного освоения которых обеспечивается экономикой извлечения основного компонента. При этом подсчет запасов попутных компонентов данной группы выполняется исключительно в пределах контура подсчета балансовых и забалансовых запасов основного компонента.

Комплексное изучение полезных ископаемых должно сопровождаться статистической обработкой результатов опробования на основные и попутные компоненты для обоснования возможности подсчета попутных компонентов корреляционно-регрессионным способом. Статистической обработке должно предшествовать выявление по данным минералогических исследований геохимической связи между отдельными попутными и основными компонентами, выражающейся в преобладании приуроченности того или иного попутного компонента к минералам одного из основных компонентов.

Параметры кондиций для подсчета запасов должны содержать:

- для каждого технологического типа полезного ископаемого – перечень попутных компонентов, запасы которых подлежат подсчету как балансовые;
- минимальное содержание попутных компонентов, учитываемые при приведении к условному содержанию основного компонента; переводные коэффициенты;
- минимальные содержания попутных компонентов в подсчетных блоках и отдельных рудных телах (залежах, пластах), если раздельная выемка и переработка полезных ископаемых с целью извлечения этих компонентов технически возможна и экономически целесообразна;
- дополнительные условия подсчета валовых и извлекаемых запасов попутных компонентов: по содержанию в рядовых или групповых пробах, по содержанию в минералах или концентратах, в целом по месторождению, по отдельным рудным телам или в подсчетных блоках.

ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

Сопоставление данных разведки и эксплуатации показывает, что расхождения в определении контуров рудных тел, подсчетных параметров, количественных и качественных показателей неизбежны. Причины этого в том, что разведка осуществляется по прерывистой сети наблюдений, а за пределами разведочных выработок параметры оруденения определяются путем интерполяции и экстраполяции. С другой стороны, при эксплуатации имеют место потери и разубоживание руд, которые при проектировании эксплуатации учитываются приближенно, что тоже вносит свой вклад в расхождение данных разведки и эксплуатации.

Небольшие отклонения рассматриваются как погрешности подсчета запасов. Если ошибки значительны, то говорят о неподтверждении запасов или качества минерального сырья.

Погрешности, возникающие при подсчете, подразделяются на три основные группы: геологические, технические и методические.

Геологические погрешности, или ошибки аналогии, возникают в результате распространения фактических данных, полученных при разведке по отдельным выработкам и скважинам, на соседние участки. Эти погрешности подвержены резким колебаниям, величина их зависит от степени изменчивости параметров оруденения, а также от плотности и равномерности разведочной сети. Геологические погрешности приводят к наиболее крупным ошибкам подсчета запасов, достигающим для категорий А и В до 10-15 %, а в отдельных случаях и выше.

Наиболее типичными геологическими ошибками являются объединение разрозненных мелких рудных тел в крупные, включение в один блок разных по качеству, технологии переработки или условиям залегания руд.

Технические погрешности связаны с техникой замеров и определения исходных параметров для подсчета запасов. Эта группа включает точность замеров мощности, химических анализов, определения объемной массы, естественной влажности и т. д.

Технические ошибки могут быть случайными и систематическими. Неизбежные случайные погрешности обычно не оказывают существенного влияния на точность определения запасов, поскольку, обладая переменным знаком, они взаимно компенсируются.

Систематические погрешности значительно более опасны, так как искажают результаты подсчета запасов, регулярно завышая или занижая их. Если имеются данные о систематических погрешностях, то категории запасов должны быть снижены. Систематические погрешности и их величина устанавливаются специальными контрольными методами, которые позволяют определить соответствующие поправочные коэффициенты и откорректировать результаты подсчета. К ним относятся коэффициент рудоносности, поправочный коэффициент к результатам химических анализов, к объемной массе и др. Систематические погрешности считаются недопустимыми и требуют устранения, хотя это не всегда удается.

Методические погрешности связаны с применением разных методов подсчета запасов. В целом, применение того или иного метода не оказывает существенного влияния на результаты подсчета. Различия обычно составляют 1-5 %, что находится в пределах точности технических операций подсчета. Снизить методические погрешности до минимума позволяет выбор метода подсчета запасов, который наиболее полно соответствует методике разведки и особенностям геологического строения месторождения, дает возможность учитывать распределение качественных показателей (типов и сортов руд) и в то же время сократить затраты времени и средств на разведку.

Оценка погрешностей подсчета запасов в процессе разведки является довольно сложной операцией. В действующих нормативных документах рекомендуется осуществлять подсчет запасов несколькими методами (Шевелев, 2004; Авдонин 2007).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

В последнее время при подсчете запасов все в большей степени используют компьютерные технологии. В том числе, применяют приемы блочного моделирования, реализуемые на основе геоинформационных систем (Micromine, Surpak, Datamine и др.).

При обосновании методики моделирования необходимо учитывать особенности геологического строения месторождения, степень его изученности и последовательность проведения разведочных работ. Общая схема компьютерного моделирования и подсчета запасов включает:

- импорт базы геологоразведочных данных;
- проверку базы данных, ввод дополнительной информации;

- статистический анализ данных опробования и определение природных (естественных) бортовых содержаний компонентов;
- оконтуривание рудных тел с использованием кондиций и естественного бортового содержания;
- геометризацию месторождения – каркасное моделирование рудных тел, тектонических нарушений и т. д. (рис. 46);
- геостатистический анализ исследуемых компонентов;
- определение параметров интерполяции;
- блочное моделирование (рис.47);
- интерполяцию содержаний в блочную модель, используя альтернативные методы (обычный кригинг, индикаторный кригинг, метод обратных расстояний и др.);
- оценку запасов и их сравнение с более ранними оценками;
- классификацию запасов/ресурсов.

Схема построения блочной модели (БМ) показана на рисунке 48 (Рекомендации…, 2014).

Блочное моделирование основывается на разделении пространства месторождения на элементарные блоки (ячейки), в которых значения свойств объекта (в частности содержания полезного компонента) интерполируются из исходных данных опробования с учетом рассчитанных весовых коэффициентов. Для этого используются разные методы интерполяции, среди которых чаще применяются метод обратных расстояний (детерминистический способ) и кригинг (геостатистический метод).

Наиболее перспективным является *кригинг*, в основе которого лежат геостатистические исследования данных опробования. Геостатистика на сегодня является наиболее мощным инструментом для получения достоверной информации о запасах полезных ископаемых в недрах, оптимального планирования их отработки и проведения геологоразведочных работ. Геостатистический метод решает *две основные задачи*: нахождение наиболее вероятной оценки запасов руды и определение точности этой оценки.

Предварительной стадией геостатистического исследования является статистический анализ: расчет гистограммы распределений значений содержаний компонентов полезных ископаемых по классам, построение графика накопленных частот, подбор законов распределения данных и определение основных статистических параметров. Вид гистограммы позволяет фиксировать явные погрешности в исходных данных геологического опробования. Следующий этап – вариограммный анализ (вариография). Используется экспериментальная вариограмма, которая строится по результатам опробования (выборочным данным) и учитывает все пары проб, удаленных на некоторое расстояние. Вариограммный анализ начинается без учета направления вектора расстояния. Полученная функция отражает такие свойства случайной величины как: стационарность, наличие эффекта самородков, значение порога и зону влияния. Эти характеристики подбираются в интерактивном режиме с помощью моделирования теоретической функцией, аппроксимирующей дискретную экспериментальную вариограмму. Для дальнейшего исследования необходимо изучить характер корреляционных связей между пробами в различных направлениях, для чего следует

построить вариограммы по направлениям. Для каждого направления определяется зона влияния (см. раздел «11.3. Математические способы…). Это необходимый шаг для выявления анизотропии залежи и взаимного влияния значений случайных величин.

Следующей стадией после вариограммного анализа залежи является ее моделирование и оценка запасов. Размеры блоков блочной модели выбираются с таким расчетом, чтобы получить наиболее детальную оценку запасов по всему объему месторождения. Заключительный этап анализа – кригинг (геостатистическая оценка содержаний полезных ископаемых).

Кригинг. Предпосылкой развития геостатистических методов послужило расхождение между содержаниями многих металлов в разведочных пробах и в реально извлекаемых объемах руд. Точность оценки зависит от ряда факторов: количества проб и их значений, расположения проб (здесь важна равномерность их размещения), расстояния между пробами и точкой в середине оцениваемого блока, наличие пространственной непрерывности рассматриваемой переменной. Кригинг – метод интерполяции, который учитывает все эти факторы, был придуман южноафриканским горным инженером Д. Криге и потом усовершенствован Ж. Матероном.

В большинстве методов интерполяции сначала задается диаметр поискового круга (или эллипса). Все точки, попавшие в поисковый круг, используются для расчета взвешенного среднего, которое будет приписано середине элементарного блока. Веса, с которыми будут учитываться исходные точки, зависят (в той или иной мере) от расстояния от узла до этой точки. Разные методы интерполяции – это разные способы взвешивания исходных данных в зависимости от расстояния. В кригинге, как методе интерполяции, взвешивание производится сложнее, чем в других методах. Допустим, что в поисковый круг попали несколько проб. Расстояния между пробами и расстояния между серединой оцениваемого блока или его границами используется для снятия вариограмных значений с модельной вариограммы. Затем вариограмные значения заносятся в матрицы системы линейных уравнений; рассчитываются коэффициенты уравнений, которые и являются весами значений компонента в пробах. После рассчитывается оценка элементарного блока модели рудной залежи.

При решении способом, выбранным Ж. Матероном, появляется небольшое по величине число μ – множитель Лагранжа. Чем множитель меньше, тем более надежно решена система линейных уравнений.

Кригинговая оценка рассчитывается по формуле:

$$Z_k = \sum_{i=1}^{n} a_i Z_i,$$

где Z_k – кригинговая интерполяционная оценка изучаемой переменной; Z_i – значения переменной в n точках, попавших в круг поиска; a_i – веса. Обычно на практике в поисковый круг попадает несколько десятков или также сотен окружающих проб. Соответственно и матричное уравнение расширяется до сотен строк и столбцов. Считается, что кригинг – это интерполяционная процедура, дающая оценки с наименьшей дисперсией.

Другие методы интерполяции основаны на наличии заданной аналитической зависимости между значениями в пространстве, выраженной формулой. Наиболее часто используются линейные интерполяторы. К ним относится *метод обратных расстояний*

(IDW).При его использовании учитываются расстояния ячейки от близлежащих разведочных выработок. Чем дальше находится разведочная выработка от ячейки, тем слабее ее влияние. Значение параметра *z* в ячейке находят по формуле средневзвешенного:

$$z = \sum_{i=1}^{n}(z_i p_i / \sum p_i),$$

где z_i – значения параметра в разведочных выработках; p_i – весовые коэффициенты, зависящие от расстояния *r* ячейки от разведочных выработок; *n* – количество близлежащих разведочных выработок. Весовые коэффициенты определяют по формуле $p_i = 1/r_i^2$. В расчет параметра *z* включают разведочные выработки, расположенные не далее некоторого заранее заданного расстояния от ячейки. Если центр ячейки совпадает с какой-либо разведочной выработкой, значение *z* принимается таким же, как в разведочной выработке (Поротов, 2004).

В ГКЗ за последние два десятилетия накоплен достаточно большой опыт применения блочного моделирования при подготовке ТЭО и подсчете запасов. Примерами объектов, где блочное моделирование использовалось для решения сформулированных задач, являются золоторудные месторождения (Наталкинское, Тасеевское, Куранах, Дегдекан, Чертово Корыто, Верненское, участок Перевальный, Попутненское, Штурмовское и др.), урановорудные (Орловское, Березовское, Горное), медно-порфировые (Михеевское, Песчанка, Молмыж, Томинское и др.), редкометалльные (Зашихинское), а также ряд других. Запасы золоторудного месторождения Кючус утверждены ГКЗ по данным блочного моделирования (Рекомендации…, 2014).

Удовлетворительная сопоставимость результатов подсчета запасовдля разных вариантов кондиций отмечается для месторождений с зональным типом пространственного размещения оруденения, например, на медно-порфировых объектах (Песчанка, Томинское, Михеевское, Молмыж). Для корректной геометризации запасов в них может быть применена методика локального анизотропного кригинга (ЛАК). Она позволяет определить ориентировку осей анизотропии в локальных участках объекта на основе минимизации дисперсии по пробам, попадающим в границы эллипсоида при разных вариантах его положения. Эта процедура наиболее эффективна при достаточно плотной сети наблюдений.

На месторождениях сложного строения с высокой изменчивостью геологоразведочных параметров расхождения в оценке запасов отмечаются наиболее часто. Дополнительными факторами, осложняющими применение блочного моделирования, являются недостаточная плотность сети по отдельным участкам месторождения и высокие значения эффекта самородков. К объектам этого типа можно отнести жильные зоны, штокверки и штокверкоподобные золоторудные месторождения.

Основным приемом, позволяющим добиться удовлетворительной сопоставимости результатов для разных способов подсчета запасов, является построение каркасов, опирающихся на рудные интервалы, выделенных по соответствующим кондиционным показателям. Этот прием требует построения отдельных «жестких» каркасов для каждого варианта бортового содержания, но считается достаточно трудоемким.

Таким образом, информационные технологии являются т*ехническим*, а геостатистическое и блочное моделирование месторождений твердых полезных ископаемых – *методическим средством* подсчета запасов и технико-экономического

обоснования кондиций, удовлетворяющим требованиям международного аудита. Учет их необходим для рационального недропользования в Российской Федерации, а также привлечения иностранных инвестиций.

Контрольные вопросы по теме 4

1. Содержание и назначение промышленных кондиций
2. Основные кондиционные показатели
3. Применение и определение бортового содержания
4. Применение и определение минимального промышленного содержания
5. Виды контуров запасов полезных ископаемых
6. Последовательность оконтуривания запасов
7. Методические приемы оконтуривания запасов
8. Определение параметров подсчета запасов
9. Характеристика ведущих методов подсчета запасов
10. Особенности подсчета запасов попутных полезных ископаемых

Тема 5
Геолого-экономическая оценка месторождений

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЭО

Геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождений заключается в определении количества и качества запасов полезного ископаемого в недрах, выявлении условий залегания и добычи, обосновании технико-экономических показателей разработки. ГЭО – важнейшая составная часть геологоразведочного процесса. Она призвана определить промышленную значимость объекта в наиболее эффективном варианте его возможного промышленного освоения.

Основными задачами ГЭО являются (Временное…, 1998):

- определение количества и качества балансовых и забалансовых запасов, а также обоснование кондиций для их подсчета;
- расчет технико-экономических показателей промышленной ценности месторождения;
- обоснование оптимального варианта освоения месторождения;
- расчет размера регулярных платежей за право пользования недрами и др.

ГЭО промышленного значения месторождений производится на всех без исключения стадиях геологоразведочных работ и разработки (см. раздел 5 «Стадийность ГРР»). Однако содержание этого вида исследования во многом зависит от фактического материала, позволяющего дать объективную оценку качества и количества выявленных запасов или прогнозных ресурсов. Только на стадии разведки, в меньшей степени на стадии оценочных работ, могут быть получены достаточно полные сведения о геологическом строении объекта, позволяющие объективно охарактеризовать качество и количество запасов полезного ископаемого, технологические свойства минерального сырья, горнотехнические, гидрогеологические, экологические условия отработки. На стадиях регионального геологического изучения недр и поисковых работ оцениваются лишь прогнозные ресурсы. Практическая значимость прогнозных ресурсов определяется по результатам их ГЭО, когда устанавливается вероятное промышленное значение прогнозируемых месторождений.

Геологическое обоснование прогнозных ресурсов осуществляется в соответствии с Методическим руководством (Методическое руководство по оценке…, Богданов и др., 1986) и с учетом современных представлений по геолого-промышленных типам месторождений (на основе принципиальных геолого-генетических моделей процессов рудообразования).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЭО

Географо-экономическая характеристика района

Приводится географическое и административное положение месторождения, его удаленность от ближайшей железнодорожной станции, автомобильных дорог, населенных пунктов и возможного потребителя сырья; природно-климатические условия; освоенность района, население, его занятость, возможные источники энергоснабжения, обеспеченность стройматериалами.

Геологическое строение района

Приводятся краткие сведения об изученности и геологическом строении района, о закономерностях размещения месторождений всех видов минерального сырья.

Геологическое строение месторождения

Особенности геологического строения; структурные, литологические и иные факторы, определяющие условия залегания, морфологию рудных тел, вещественный состав руд, распределение основных и попутных компонентов, а также вредных примесей; наличие обогащенных участков и закономерности их размещения; сведения об изменчивости основных параметров рудных тел по простиранию и падению. Наличие промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, подлежащих раздельной добыче и переработке; характеристика их качества. Наличие и закономерности распределения безрудных прослоев, характеристика слагающих их пород.

Для россыпных месторождений – характеристика особенностей формы, размеров и состава продуктивного «пласта», состава и мощности «торфов», строение плотика; содержание ценных компонентов; размер, форма и прочие особенности зерен полезных минералов, пробность золота.

Группа сложности месторождения в соответствии с классификацией запасов и прогнозных ресурсов.

Методика геологоразведочных работ

Сведения о проведенной топографической съемке, системе координат и привязке разведочных выработок.

Изученность поверхности месторождения – геологическая съемка, геохимические и геофизические исследования, проходка шурфов и канав.

Изученность глубоких горизонтов месторождения – система разведки; плотность разведочной сети; обоснование участка, разведанного по более высокой категории; сводная таблица видов и объемов геологоразведочных работ; объем выработок, участвующих в подсчете запасов.

Глубина, диаметры и конструкция разведочных скважин, способ и технология бурения, результаты замеров зенитных и азимутальных искривлений скважин. Выход керна линейный, по массе или объемный; интервалы с низким выходом керна, избирательное истирание керна, поправочные коэффициенты, выход шлама по массе или объемный при шарошечном или ударном бурении.

Методика и техника геофизических работ – основные результаты, случайные и систематические погрешности геофизических измерений.

Методика опробования буровых скважин и горных выработок, качество опробования, оценка достоверности результатов, наличие систематических погрешностей, поправочные коэффициенты, схема обработки проб. Групповые пробы, методика их составления.

Аналитические работы: объемы, методы проведения основных, контрольных и арбитражных анализов, соответствие их действующим стандартам или другим нормативным документам. Результаты обработки данных контроля, качество анализов,

оценка влияния низкого качества анализов на результаты подсчета запасов (определение мощности, площади рудных тел, содержания и т. п.). Обоснованность предполагаемых поправочных коэффициентов.

Методы и число определений объемной массы для разных типов и сортов полезных ископаемых. Обоснование значений объемной массы, принятых для подсчета запасов.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Основные водоносные горизонты, наиболее обводненные участки и зоны, их взаимосвязь с поверхностными водотоками, химический состав и бактериологическое состояние поверхностных и подземных вод; величина ожидаемых, а также максимально возможных водопритоков в горные выработки. Для россыпных месторождений, предназначенных для дражной отработки – возможность устройства плотин с целью подъема воды.

Источники питьевого и технического водоснабжения горного предприятия, оценка дальнейшего использования подземных вод месторождения для целей водоснабжения или извлечения ценных компонентов, а также их очистки при сбросе в поверхностные водотоки.

Инженерно-геологические особенности пород месторождения – состав, трещиноватость, тектоническая нарушенность, способность полезных ископаемых к самовозгоранию, радиационная характеристика полезного ископаемого и вмещающих горных пород, возможность возникновения оползней, селевых потоков и т. д. При наличии многолетней мерзлоты необходимо выявить глубины распространения и температурный режим.

ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Способ разработки месторождения

Выбор способа разработки месторождения зависит от глубины и условий залегания тел полезных ископаемых и производится с учетом экономико-географических и горно-технологических факторов. Оценке подлежат следующие варианты освоения месторождения:

- открытый способ,
- подземный,
- открытый и подземный (комбинированный),
- геотехнологический.

Применение открытого способа разработки устанавливается с помощью предельного коэффициента вскрыши ($К_в^п$), вычисляемого по формуле:

$$К_в^п = (С_п – С_о) / С_в,$$

где $С_п$ – себестоимость добычи 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $С_о$ – то же при открытых работах без учета затрат на выемку пустых пород; $С_в$ – себестоимость 1 т вскрыши, руб.

При комбинированном способе границу освоения месторождения открытым способом устанавливают исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого открытым и подземным способами.

Система разработки

Выбор системы разработки и ее основных элементов производится исходя из анализа геологических и горнотехнических условий месторождения.

Потери и разубоживание

Их величину следует устанавливают в значениях, характерных для принятой системы разработки с учетом горно-геологических условий месторождения.

Величина потерь обычно составляет:

- 3-7 % при системах отработки с креплением и закладкой очистного пространства;
- 8-20 % с открытым выработанным пространством и магазинированием руды;
- 15-20 % с массовым обрушением;
- 4-6 % при открытом способе разработки.

Величины разубоживания:

- 5-10 % при системах с магазинированием, креплением и закладкой выработанного пространства;
- 15-20 % при системах с массовым обрушением;
- 5-10 % при открытом способе разработки.

Производительность предприятия и продолжительность периода разработки являются важнейшими оценочными показателями, определяющими себестоимость добычи, капитальные вложения в промышленное строительство и сроки строительства предприятия. Устанавливаются в зависимости от запасов месторождения, особенностей геологического строения, горно-технических условий эксплуатации. Если существуют ограничения потребности в данном сырье, особые природоохранные и другие факторы, регламентирующие добычу, то ограничивается и производительность предприятия.

В зависимости от величины эксплуатационных запасов, горно-геологических особенностей месторождения и способа отработки, годовую производительность можно определить, руководствуясь горно-техническими условиями. Порядок ее расчета установлен в нормах технологического проектирования и осуществляется при оценке объекта по результатам разведки в базовых вариантах оконтуривания.

Для расчета годовой производительности по добыче руды при оценке по результатам поисковых и оценочных работ можно использовать метод аналогии или рекомендовать упрощенные методы, отражающие статистическую зависимость между величиной эксплуатационных запасов и средней продолжительностью работы рудника. В этих целях используются табличные материалы, подготовленные ВИЭМС и представленные в методических разработках для практических занятий.

Для расчета эксплуатационных запасов руд ($З_э$) используется следующая формула:

$$З_э = З \cdot (1 - п) / (1 - р),$$

где З – запасы полезного ископаемого в недрах, тыс. т; п – потери при добыче, доли ед., р – разубоживание при добыче, доли ед.

Коэффициент изменения качества руды при добыче (Р) можно рассчитать, допуская отсутствие полезного компонента в засоряющих породах, по формуле:

$$Р = 1 – р.$$

Этот упрощенный метод, предложенный Тэйлором (Хилл, 1999), позволяет рассчитывать годовую производительность как частное от деления эксплуатационных запасов на срок эксплуатации.

Следует подчеркнуть, что рассчитанная тем или иным способом годовая производительность предприятия является проектной и ее достижение требует определенного срока. Применительно к оценочным расчетам в условиях рыночных отношений неучет фактора времени достижения проектной производительности приводит к существенному искажению результатов экономической эффективности освоения месторождения независимо от того, проводится ли оценка по результатам поисковых, оценочных или разведочных работ.

Нужно учитывать также опыт рационального обеспечения запасами горнорудных предприятий:

- на 20-25 лет обычно обеспечиваются запасами рудники и карьеры черной металлургии, а крупные горнодобывающие комбинаты – не менее чем на 40 лет;
- на 30-40 лет – крупные горнорудные предприятия алюминиевой, медной, свинцово-цинковой и никелевой промышленности;
- на 20-30 лет – крупные предприятия по добыче вольфрама, молибдена, олова и др.;
- на 15-20 лет – золоторудные предприятия;
- на 5-10 лет – небольшие предприятия, эксплуатирующие богатые месторождения цветных металлов, золота и ценных видов неметаллического сырья, а также россыпные месторождения благородных и редких металлов, горнодобывающие предприятия химической промышленности и промышленности строительных материалов.

При определении фактического коэффициента вскрыши отстраивают схему освоения месторождения открытым способом. Верхний контур карьера откладывают соответственно результирующему углу наклона бортов карьера. Эти углы зависят от крепости пород (по М. М. Протодьяконову) и глубины карьера. Рекомендуемые значения также приводятся в специальных таблицах, представленных в методических разработках для практических занятий.

Для выполнения расчетов следует:

- вынести на план контуры верхнего и нижнего оснований карьера, а при необходимости и промежуточного контура (на уровне рыхлых отложений);
- определить объем карьера ($V_к$) по формулам:

$$V_к = [(S_в + S_н) / 2] \cdot H \text{ или } V_к = [(S_в + S_н + \sqrt{S_B \cdot S_H}) / 3] \cdot H,$$

где $S_в$ и $S_н$ – площади верхнего и нижнего оснований карьера, м^2; H – глубина карьера, м. Вторая формула применяется, если $S_в > S_н$ на 40 %;

- вычислить объемный коэффициент вскрыши ($K_в$):

$$K_в = (V_к – V_р) / V_р,$$

где $V_к$ – объем карьера, м^3; $V_р$ – объем руды, м^3;

- рассчитать (при необходимости) предельный коэффициент вскрыши ($K_в^п$):

$$K_в^п = (З_п – З_о) / З_в,$$

где $З_п$ – затраты (себестоимость) на добычу 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $З_о$ – то же при открытых работах; $З_в$ – затраты на выемку 1 т вскрышных пород при открытом способе, руб.

Если фактически коэффициент вскрыши меньше предельного ($К_в<К_в^п$), то целесообразен открытый способ разработки месторождения; если отмечена обратная зависимость ($К_в>К_в^п$), то подземный.

Расчет годовой производительности горнодобывающего предприятия во многом определяется горнотехническими условиями отработки и зависит, в первую очередь, от величины эксплуатационных запасов. Таблицы для упрощенного определения годовой производительности также приводятся в методических разработках для лабораторных занятий (Угрюмов, Дворник, 2004; Баранников, Макарова, 2002).

Годовая производительность по руде ($А_р$) может быть также определена по формуле:

$$А_р = З / Т,$$

где $Т$ – срок существования рудника, лет.

Производительность горнодобывающего предприятия по горной массе ($А_{гм}$) определяется по формуле:

$$А_{гм} = А_р \cdot (1+К_в).$$

Для расчета производительности по горной массе также можно воспользоваться эмпирической зависимостью:

$$А_{гм} = 42S – 10^5 \cdot S^2,$$

где S – средняя по глубине горизонтальная площадь проектного карьера.

Расчет годовой производительности по нормам технологического проектирования осуществляется, как правило, в базовых вариантах оконтуривания. В промежуточных вариантах годовую производительность по руде ($А_р$) рассчитывают по формуле:

$$А_р = \sqrt[a+b]{З_э},$$

где $З_э$ – эксплуатационные запасы руды, тыс. т; a, b – числовые коэффициенты, определяемые путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} А_{р1} = \sqrt[a+b]{З_{э2}} \\ А_{р2} = \sqrt[a+b]{З_{э1}} \end{cases}$$

В соответствии с принятой системой разработки и выбранной производительностью в горнотехнической части также рассматриваются: условия воздухо- и водоснабжения, вентиляции, откатки и подъема полезного ископаемого при подземной разработке, транспортировки вскрыши в отвал, а полезного ископаемого на фабрику. С учетом этого выбирается основное оборудование, режим работы предприятия, определяются укрупнено объемы работ по электро-, тепло- и водоснабжению.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Обоснование технологии переработки минерального сырья. Базируется на данных изучения его вещественного состава, структурно-текстурных особенностей, физико-механических и других свойств, на результатах технологических испытаний, а также передового опыта переработки (обогащения) аналогичных видов минерального сырья. При

наличии на месторождении нескольких технологических типов руд, подлежащих раздельной переработке, технология переработки обосновывается для каждого из них.

Объемы и виды технологических исследований. Должны быть достаточны для выбора технологической схемы переработки минерального сырья и обоснования ее основных показателей. К ним относятся качество получаемой товарной продукции, ее выход от исходного минерального сырья, а для рудных месторождений – извлечение основных и попутных компонентов в товарную продукцию в процентах.

В соответствии с выбранной схемой обогащения составляется материальный баланс, согласно которому количество металла, поступившего на обогащение, равно количеству металла, просуммированного по продуктам обогащения. Связь основных показателей обогащения выражается в виде следующей формулы:

$$И_{об} = (В_к \cdot М_к) / М_р,$$

где $И_{об}$ – извлечение при обогащении, %; $В_к$ – выход концентрата, %; $М_к$ и $М_р$ – содержание металла в концентрате и добытой руде, соответственно, %.

При упрощенных расчетах, когда широко используются технико-экономические показатели предприятий-аналогов, коэффициент извлечения металла в концентрат иногда принимают по аналогии. В этом случае может оказаться необходимым обосновать уже другой показатель – выход концентрата (Вк) в тоннах по формуле:

$$В_к = [И_{об} \cdot М_р \cdot (1 - р)] / М_к,$$

где р – показатель разубоживания, доли ед.

При этом расход руды на получение 1 т концентрата (q):

$$q = 1 / В_к.$$

Добытое полезное ископаемое может перерабатываться на вновь построенной на месторождении обогатительной фабрике или на действующих в регионе предприятиях, имеющих свободные мощности или требующих увеличения мощностей по переработке сырья. Выбор местонахождения обогатительной фабрики обосновывается экономическими расчетами.

Производительность обогатительной фабрики по руде в конкретных условиях зависит от масштаба производства снабжающих ее рудников. Как правило, при оценке месторождений она принимается равной годовой производительности предприятия по добыче руды.

При оценке рудных месторождений конечной товарной продукцией обычно является сам металл. Поэтому процесс переработки минерального сырья следует оценивать, включая металлургический передел. Для этого необходимы сведения о технологической схеме переработки концентратов, извлечении полезных компонентов в конечную товарную продукцию, а также перечень выпускаемой конечной товарной продукции по маркам. Эти показатели принимаются по фактическим данным металлургических предприятий, на которых предусматривается переработка концентратов и промпродуктов из руд оцениваемого месторождения.

Сквозное извлечение металла в конечный товарный продукт (И) с учетом металлургического передела:

$$И = И_{об} \cdot И_м,$$

где $И_м$ – извлечение при металлургическом переделе, доли ед.

Изучение поведения попутных компонентов в процессе переработки. Изучается содержание попутных компонентов в продуктах обогащения, баланс распределения каждого попутного компонента по минералам и продуктам.

Определение состава и свойств отходов. Исследуется состав и свойства отходов, возможность их промышленного использования, целесообразность учета количества отдельных видов отходов или утверждение их запасов.

ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Изучение и прогнозирование воздействия результатов геологоразведочных работ, а также разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду, является обязательной составной частью ГЭО (Временное…, 1998). Полученные при этом данные должны способствовать ликвидации их негативных последствий, получению исходных данных, необходимых для комплексного промышленного освоения, а также разработке рационального комплекса природоохранных мероприятий, определению их стоимости на разных стадиях изучения и геолого-экономической оценке месторождений. Результаты отмеченных исследований проходят экологическую экспертизу.

Влияние геологоразведочных работ и промышленного освоения месторождений на окружающую среду многоаспектно. Оно может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, выводе из хозяйственного оборота или снижении продуктивности плодородных земель и других негативных воздействиях. Характер и степень этого влияния в значительной мере обусловлены способом ведения геологоразведочных работ и отработки месторождения, а также составом добываемых и перерабатываемых полезных ископаемых, технологией их обогащения, металлургического и химического передела, степенью очистки отходящих газов и сточных вод.

Предотвращение или нейтрализация отрицательного воздействия освоения месторождения на природную среду возможны только при наличии максимально полной информации о характере объекта и условиях его эксплуатации. Она должна быть получена в процессе разведочных работ и использована для выработки соответствующих проектных решений и природоохранных мероприятий.

Все эти вопросы, разобранные с той или иной степенью достоверности (в зависимости от собранного материала), находят отражение в разрабатываемых ТЭД и ТЭО.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

В данном разделе приводится обоснование величины инвестиций (капитальных вложений и оборотных средств) в освоение месторождения, а также эксплуатационных затрат, связанных с добычей и обогащением полезного ископаемого. Рассчитываются показатели эффективности освоения месторождений, выбирается оптимальный вариант их освоения.

В практике оценки месторождений полезных ископаемых существует два основных метода определения капитальных затрат и производственных (эксплуатационных)

расходов: 1 – прямой расчет и 2 – метод аналогии. *Прямые расчеты* более точны и надежны. Они позволяют учесть все специфические особенности проекта. Однако на ранних стадиях изучения объекта данных для прямого расчета недостаточно, и тогда для предварительной оценки необходимых вложений используется *метод аналогии*, который может применяться в двух модификациях. В первом случае выбирается непосредственный объект-аналог – месторождение того же геолого-промышленного типа, расположенное в том же регионе, близкое по геологическим, горнотехническим и горно-технологическим условиям. Технико-экономические показатели объекта-аналога принимаются за основу для проведения расчетов. Вторая модификация предусматривает оценку необходимых затрат с помощью укрупненных показателей – удельных капиталовложений на разные виды работ. Удельные капвложения – это затраты, отнесенные на единицу объема работ – на 1 т руды, на 1 км строительства дороги, на 1 км проведения ЛЭП и т. д. Удельные показатели определяются отраслевыми институтами – ВИЭМС в Москве, ИГД в Екатеринбурге и др. на основе анализа деятельности профильных предприятий, и позиционируются как соответствующие нормативы.

Обоснование инвестиций в освоение месторождений

Инвестиции включают в себя капитальные вложения на фонды промышленного и непромышленного назначения, а также инвестиции в оборотный капитал.

К *фондам промышленного назначения* относятся рудник с комплексом горно-капитальных выработок, зданий, сооружений и оборудования; обогатительная фабрика с объектами хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения; участок автомобильных дорог и железнодорожных путей от месторождения до существующих путей сообщения; службы энерго-, водо- и теплоснабжения, канализации и т. д. *Непромышленные фонды* – это объекты социального, жилищного и бытового назначения.

1. Капитальные вложения в строительство рудника.

Определяются в соответствии с намеченным способом разработки, исходя из годовой производительности и капитальных удельных вложений на горно-капитальные работы, оборудование, здания и сооружения в соответствии с глубиной разработки и с учетом территориального поправочного коэффициента. Учитываются также затраты на получение лицензий: права на пользование землей и недрами, на определенные виды деятельности; организационные расходы, включая регистрацию предприятия; затраты по компенсации потерь от изъятия земель и другие расходы, связанные со строительством объектов.

Капитальные вложения в строительство карьера, рудника могут быть определены по формуле:

$$K_{\text{р}} = K_{\text{ур}} \cdot A_{\text{р}},$$

где $K_{\text{ур}}$ – удельные капитальные затраты на 1 т годовой производительности по руде или горной массе, руб.; $A_{\text{р}}$ – производительность рудника по руде или горной массе, т/год. Удельные показатели принимаются в соответствии с действующими нормативами, приведенными в методических разработках к лабораторным занятиям.

2. Капитальные вложения в строительство обогатительной фабрики.

Определяются с учетом ее производительности и удельных затрат на 1 т производственных мощностей по переработке минерального сырья, а также территориального поправочного коэффициента.

Для определения капитальных вложений в строительство обогатительной фабрики на основе удельных показателей используется формула:

$$K_{ф} = K_{уд} \cdot A_{ф},$$

где $K_{уд}$ – удельные капвложения на 1 т годовой производительности, руб.; $A_{ф}$ – годовая производительность фабрики.

3. Капитальные вложения в строительство автомобильных и железных дорог, линий электропередач, водоснабжение и прочее также определяются в соответствии с нормативами удельных капитальных вложений на 1 км сооружений, их протяженностью и поправочными коэффициентами, учитывающими район строительства и рельеф местности.

4. Капитальные вложения на предстоящие геологоразведочные работы учитываются, исходя из запасов месторождения, а также из удельных затрат на разведку 1 т руды запасов категорий $A+B+C_1$, и относятся к первому году строительства горнорудного предприятия. Они определяются по данным объектов-аналогов или методом прямого расчета путем составления сметы на проведение геологоразведочных работ.

5. Прочие капитальные вложения в строительство объектов жилищного, коммунального и культурно-бытового назначения определяются исходя из числа трудящихся на горном предприятии и удельных затрат на одного человека при строительстве этих объектов.

6. Общие капитальные затраты ($K_{общ}$) определяются как сумма затрат на строительство рудника (карьера), обогатительной фабрики, затрат на транспорт, строительство линий электропередач, затрат на геологоразведочные работы и прочих.

Прочие капитальные вложения ориентировочно можно принять в размере 10-15 % для малых и средних объектов и 20-25 % для крупных от суммы капитальных затрат на строительство рудника (карьера) и обогатительной фабрики.

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты, связанные с добычей и обогащением полезного ископаемого, состоят из цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов. Они определяют себестоимость продукции горно-обогатительного предприятия. Эксплуатационные затраты также устанавливаются прямым расчетом или с использованием показателей существующих предприятий, разрабатывающих аналогичные месторождения в сходных географо-экономических условиях.

1. Цеховые эксплуатационные затраты

При подземной добыче полезного ископаемого цеховые эксплуатационные затраты определяются с помощью укрупненных нормативных показателей себестоимости добычи руды в зависимости от годовой производительности рудника, глубины разработки, варианта вскрытия и системы добычи.

При открытой добыче цеховые затраты рассчитываются с помощью укрупненных нормативов в зависимости от годовой производительности, типов и размеров основного оборудования, транспортных средств, глубины карьера и коэффициента вскрыши.

Затраты на рекультивацию нарушенных земель, которые входят в цеховые эксплуатационные затраты, определяются исходя из площади нарушенных земель и удельных затрат на рекультивацию 1 га.

Затраты по обогащению полезного ископаемого определяются с помощью укрупненных нормативных показателей цеховой себестоимости в соответствии с намеченной производительностью фабрики, способом обогащения и составом руд.

2. Общекомбинатские расходы зависят от цеховой себестоимости добычи, обогащения и составляют обычно 8-10 % от цеховых расходов.

3. *Внепроизводственные расходы* складываются из цеховых погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки концентрата до линии железной дороги общего пользования. Укрупненно они могут быть приняты в размере 3-5 % от цеховой себестоимости.

Затраты по охране окружающей среды зависят от характера производственной деятельности и местных условий, рассчитываются отдельно и включаются в эксплуатационные затраты.

Общая величина эксплуатационных затрат определяется как сумма цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов, а также затрат по охране среды.

Показатели эффективности освоения месторождения

При оценке эффективности освоения месторождения соизмерение разновременных затрат и показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к базисному моменту времени – началу строительства горнодобывающего предприятия. Это реализуется их умножением на коэффициент дисконтирования:

$$K_{\text{д}} = \frac{1}{(1+\text{E})^{t}},$$

где t – номер расчетного года, начиная от начала строительства горнодобывающего предприятия; Е – норма дисконтирования, которая принимается равной приемлемой для инвестора норме дохода или прибыли на капитал (процентная ставка). Эта норма устанавливается на таком уровне, который позволил бы инвестору не только компенсировать риск, но и получить требуемую прибыль. Обычно эта норма при постоянных ценах в горной промышленности колеблется в следующих пределах:

- от 10-12 % при разработке месторождений строительных материалов;
- 15-18 % при разработке месторождений черных и цветных металлов;
- до 20-25 % при разработке месторождений золота.

Кроме того, для учета фактора времени в экономических расчетах применяется коэффициент ежегодной ренты (аннуитета), который определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{а}} = \frac{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} - 1}{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} \text{ x E}}$$

Коэффициенты дисконтирования и аннуитета, рассчитанные для разных значений Е и t, приводятся в виде справочных таблиц в методических разработках по практике ГЭО.

Основными показателями экономической эффективности освоения месторождения являются:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности (ИД);
- срок окупаемости капитальных вложений (То);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- рентабельность предприятия по отношению к производственным фондам (Рф);
- рентабельность предприятия по отношению к эксплуатационным затратам (Рэ).

Чистый дисконтированный доход определяется как сумма чистых доходов за весь расчетный период:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right),$$

где t = 1, 2, 3…T – количество лет от начала строительства до ликвидации предприятия; Ц_t – стоимость продукции (выручка) в t-м году, руб.; З_t – эксплуатационные затраты, произведенные в том же году без учета амортизационных отчислений, руб.; K_t – капитальные вложения (инвестиции) в t-м году, руб.; Е – норма дисконтирования.

С использованием соответствующего коэффициента дисконтирования формула несколько упрощается:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot K_{\text{д}}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot K_{\text{д}}\right).$$

Если ЧДД положителен, освоение месторождения эффективно; при отрицательном ЧДД освоение окажется неэффективным как не отвечающее установленной норме дохода.

На начальных стадиях изучения месторождения не представляется возможным определить величину выручки, эксплуатационных затрат и капитальных вложений по отдельным годам. Поэтому величины выручки и затрат принимаются постоянными за все время разработки, а величину капитальных вложений – постоянной за все время строительства. Средняя величина дохода определяется по формуле:

$$\text{Д}_\text{г} = \text{Ц}_\text{г} - \text{З}_\text{г},$$

где $\text{Д}_\text{г}$ – среднегодовой доход; $\text{Ц}_\text{г}$ – среднегодовая стоимость продукции (выручка) за год; $\text{З}_\text{г}$ – среднегодовые эксплуатационные затраты, включая амортизационные отчисления.

Среднегодовой доход с амортизационными отчислениями ($\text{Д}^1_\text{г}$) будет:

$$\text{Д}^1_\text{г} = \text{Д}_\text{г} + \text{А}_\text{о},$$

где $\text{А}_\text{о}$ – амортизационные отчисления.

В этом случае ЧДД определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}\text{ x Е}} - K_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}\text{ x Е}},$$

где $K_\text{г}$ – среднегодовая величина капитальных вложений; $T_\text{э}$ – срок эксплуатации месторождения; $T_\text{с}$ – срок строительства предприятия.

Подставляя коэффициенты дисконтирования и аннуитета, формулу можно значительно упростить:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot K_{\text{аэ}}\cdot K_{\text{дс}} - K_\text{г}\cdot K_{\text{ас}},$$

где $K_{\text{аэ}}$ – коэффициент аннуитета на срок эксплуатации, $K_{\text{дс}}$ – коэффициент дисконтирования на срок строительства, $K_{\text{ас}}$ – коэффициент аннуитета на срок строительства.

Индекс доходности (ИД) показывает, во сколько раз приведенные доходы превышают приведенные капитальные вложения:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_t)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)}$$

Или на начальных этапах изучения месторождения:

$$\text{ИД} = \frac{Д_г^1\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_э}-1}{(1+\text{E})^{T_э}\cdot\text{E}}\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^{T_c}}}{\text{Кг}\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_c}-1}{(1+\text{E})^{T_c}\text{ x E}}}.$$

Или с использованием коэффициентов:

$$\text{ИД} = (Д^1_г \cdot К_{аэ} \cdot К_{дс}) / (К_г \cdot К_{ас}).$$

Разработка месторождения эффективна, если индекс доходности больше 1.

Срок окупаемости капитальных вложений ($T_о$) – временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы уравнивают приведенные капитальные вложения. Срок окупаемости определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{Tо}\left[(\text{Ц}_t - 3_е)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right] = \sum_{t=1}^{Tо}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)$$

или на начальных стадиях изучения месторождений

$$T_о = -\frac{\log\left\{1-\frac{K_г}{Д_г^1}[(1+\text{E})^{tc}-1]\right\}}{\log(1+E)}.$$

Логарифмирование производится по любому основанию, так что можно применять как натуральные логарифмы, так и десятичные.

Возможно определение $T_о$ и графическим способом (рис. 49).

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта, при которой величина приведенных доходов уравнивает приведенные капитальные вложения. ВНД определяется из условия (в неявной форме):

$$\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_е)\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения месторождения ВНД определяется из условия:

$$Д^1_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_э}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_э}\cdot\text{ВНД}} = К_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_c}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_c}\cdot\text{ВНД}}$$

Ориентировочная величина ВНД определяется соотношением: ВНД = 75 / $T_о$, %.

На практике часто применяется простой графический способ определения ВНД. Для этого рассчитывается 3 значения ЧДД при разной величине Е и строится график, на котором в выбранном масштабе по вертикальной оси откладываются ЧДД, а по горизонтальной – Е. По трем точкам проводится прямая, которая пересечет горизонтальную ось в точке, соответствующей значению ВНД (рис. 50).

Рентабельность разработки месторождения по отношению к основным производственным фондам ($Р_ф$) вычисляется по формуле:

$$Р_ф = П_ч / Ф \cdot 100\ \%, \text{ или } Р_ф = Д_г / К \cdot 100\ \%,$$

где $П_ч$ – среднегодовая прибыль после уплаты налогов; Ф – стоимость производственных фондов предприятия (основных и оборотных средств); $Д_г$ – среднегодовой доход; $К$ – капитальные вложения в освоение месторождения.

Рентабельность предприятия по отношению к годовым эксплуатационным затратам ($Р_з$) может быть определена по формулам:

$$Р_з = П_ч / З_г \cdot 100\ \% \text{ или } Р_з = Д_г / З_г \cdot 100\ \%,$$

где $З_г$ – годовые затраты, руб.

С учетом, платежей, налогов и отчислений расчет показателей ГЭО осуществляется в следующем порядке.

Величина годовой прибыли ($П_г$) определяется по формуле:

$$П_г = Ц_г – (З_г + Н_э),$$

где $Ц_г$ – среднегодовая стоимость продукции без налога на добавленную стоимость (выручка); $З_г$ – среднегодовые эксплуатационные затраты с учетом амортизационных отчислений; $Н_э$ – величина налогов, платежей, отчислений, учитываемая в структуре эксплуатационных затрат. К ним относятся, в первую очередь, налог на добычу и дорожный налог.

Величина чистой годовой прибыли ($П_ч$) определяется по формуле:

$$П_ч = П_г – Н_п,$$

где $Н_п$ – величина налогов, платежей, отчислений, изымаемая из прибыли. Основную их часть составляют налоги на прибыль и на имущество.

Величина чистой годовой прибыли с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) определяется по формуле:

$$П^1_ч = П_ч + А_о,$$

где $А_о$ – амортизационные отчисления, определяемые в соответствии с действующими нормами амортизации.

При расчетах показателей эффективности используется чистая годовая прибыль с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) за исключением расчета рентабельности ($Р_ф$, $Р_з$), где используется чистая годовая прибыль $П_ч$.

Вычисление показателей экономической эффективности освоения месторождения с учетом существующих налогов, платежей и отчислений осуществляется по формулам:

$$ЧДП = \sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right),$$

$$ИП = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)}$$

$T_о$ определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{To}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] = \sum_{t=1}^{To}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)$$

ВНП определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения используются соответственно следующие формулы:

$$ЧДП = П_ч \cdot \frac{(1+Е)^{Tэ}-1}{(1+Е)^{Tэ} \cdot Е} - K_г \cdot \frac{(1+Е)^{Tс}-1}{(1+Е)^{Tс} \cdot Е} \text{ или}$$

$$ЧДД = П_ч \cdot К_{аэ} – K_г \cdot K_{ас},$$

$$\text{ИП} = \frac{\text{П}_{\text{ч}}^{1} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_{\text{э}}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_{\text{э}}} \cdot \text{Е}} \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}}}}{\text{Кг} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}} \cdot \text{Е}}}, \text{ или ИП} = \text{П}_{\text{ч}} \cdot K_{\text{аэ}} / K_{\text{г}} \cdot K_{\text{ас}},$$

$$T_{\text{о}} = - \frac{\log\left\{1 - \frac{K_{\text{г}}}{\text{П}_{\text{ч}}^{1}}\left[(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}} - 1\right]\right\}}{\log(1+E)},$$

ВНП определяется из условия:

$$\text{П}^{1}_{\text{ч}} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{э}}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{э}}} \cdot \text{ВНД}} = K_{\text{г}} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{с}}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{с}}} \cdot \text{ВНД}},$$

$$\text{Р}_{\text{ф}} = \text{П}_{\text{ц}} / \Phi \cdot 100\ \%,$$

$$\text{Р}_{\text{з}} = \text{П}_{\text{ц}} / \text{З}_{\text{г}} \cdot 100\ \%.$$

Денежный поток при разработке месторождения является дополнительным показателем эффективности освоения. Его составляющими являются приток и отток средств по годам с начала деятельности горного предприятия. Источниками притока средств являются выручка от реализации производственной продукции и реализации остаточных производственных фондов при ликвидации предприятия, сокращение величины оборотных средств. Основными составляющими оттока средств являются эксплуатационные расходы, налоговые выплаты, платежи и отчисления, которые не входят в структуру эксплуатационных затрат, увеличение оборотных средств, отчисления в развитие геологоразведочных работ и т. д. Суммарная разность между притоком и оттоком средств за весь период существования предприятия называется *чистым денежным потоком*. Если величины этого потока приводят к началу разработки месторождения, то суммарная величина этих значения является дисконтированным чистым денежным потоком. При определении денежного потока при разработке месторождения конкретным частным предприятием при оттоке средств, кроме того, учитывается погашение взятого кредита банка на строительство горного предприятия и выплата процентов по этому кредиту.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Обоснование оптимального варианта освоения месторождения осуществляется на основе сопоставления его технико-экономических показателей при разных значениях бортового содержания, а именно: величины запасов полезных компонентов, размера капитальных вложений, эксплуатационных затрат, чистого дисконтированного дохода и т. д. Полный перечень этих показателей, а также пример повариантных технико-экономических расчетов для полиметаллического месторождения приводится в методических разработках для лабораторных занятий по дисциплине «Разведка и ГЭО МПИ».

Ни один из показателей не является достаточным для окончательного вывода о предпочтении того или иного варианта оконтуривания или подсчета запасов. Однако каждый из них должен отвечать заранее обусловленным требованиям инвестора: чистый дисконтированный доход и внутренняя норма доходности должны быть не меньше заранее установленной величины; срок окупаемости капитальных вложений – не более намеченного времени и т. п.

В целом, промышленное значение месторождения определяется экономической эффективностью его разработки. Наряду с этим необходимо учитывать потребность промышленности в данном виде минерального сырья, наличие трудовых ресурсов, а также социальное положение населения в районе расположения объекта, экологическую ситуацию и т. п. Неполное удовлетворение потребности конкретного района в минеральном сырье может служить основанием для предложения о снижении налогов и предоставлении льгот при разработке месторождения.

Контрольные вопросы к теме 5

1. Цели и задачи ГЭО МПИ
2. Геологические показатели ГЭО
3. Горнотехнические показатели ГЭО
4. Технологические показатели ГЭО
5. Обоснование инвестиций в освоение месторождения
6. Определение эксплуатационных затрат при разработке
7. Назначение и применение коэффициента дисконтирования, ставки дисконта, коэффициента аннуитета
8. Основные показатели эффективности освоения месторождения
9. Определение чистого дисконтированного дохода
10. Определение индекса доходности
11. Определение срока окупаемости инвестиций
12. Определение внутренней нормы доходности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Становление учения о разведке недр прошло длинный исторический путь, постепенно накапливая опыт и знания при изучении и оценке различных типов месторождений полезных ископаемых. К настоящему времени *разведка* представляет *самостоятельную научную дисциплину,* имеющую объекты изучения, методологические подходы, геолого-экономическую основу оценки полученных результатов.

Накопленный опыт разведки и геолого-экономической оценки месторождений получил отражение в многочисленных литературных источниках: монографиях, учебниках и учебных пособиях, научных статьях, методических разработках и рекомендациях. Направления совершенствования геологоразведочных работ, обоснованные еще в 80-90-е годы XX столетия, во-многом актуальными и в настоящее время. К числу сформулированных при этом задач следует отнести (Комплексная…, 1990):

- повышение достоверности утверждаемых по результатам разведки запасов;
- обоснование комплексного использования минерального сырья на основе совершенствования рациональной технологии переработки полезных ископаемых;
- совершенствование методов опробования и способов обработки проб;
- повышение уровня изученности вещественного состава и технологических свойств полезного ископаемого;
- повышение роли геофизических и геохимических исследований при оконтуривании залежей полезных ископаемых, изучении их внутреннего строения;
- совершенствование методики разведки и геолого-экономической оценки месторождений на основе обобщения передового отечественного и зарубежного опыта.

В то же время нельзя оперировать только накопленным опытом. С течением времени меняются экономические условия хозяйствования, совершенствуются подходы к оценке промышленной значимости месторождений. В современных условиях необходимо внедрение в геологоразведочный процесс геоинформационных технологий. При этом возможны следующие направления сбора информации и её обобщения:

- перевод накапливаемой геологической информации по месторождениям с бумажных носителей на цифровые;
- создание банка цифровых данных по всем разведанным пересечениям, включающим результаты опробования, аналитических, инженерно-геологических и иных исследований;
- разработка цифровых моделей месторождений, позволяющих на базе 3D моделирования анализировать форму и условия залегания тел полезных ископаемых, пространственное распределение качественных показателей в объеме рудных тел, оценивать роль и значение рудоконтролирующих факторов на прилегающих к месторождению территориях (в пределах рудных районов и узлов);
- производить подсчет запасов и ГЭО, обосновывать кондиции на минеральное сырье, укреплять и стабилизировать добычу минерального сырья требуемого качества на горнорудных предприятиях и т. д.

Все изложенное определяет высокую актуальность подготовки квалифицированных кадров в рамках высшей школы, владеющих не только глубокими геологическими

знаниями, но и современными приемами сбора и обработки накопленной информации с использованием IT-технологий.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой геологии,
поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых
_____ В.А.Душин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МПИ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	3
2.	СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ	6
3.	СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
	3.1. Введение	7
	3.2. Общие сведения о районе работ	8
	3.2.1. Географо-экономическая характеристика	8
	3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ	8
	3.3. Геологическое строение района	9
	3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)	9
	3.5. Методика и объемы проектируемых работ	10
	3.5.1. Целевое геологическое задание	10
	3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ	11
	3.5.3. Прочие виды работ	12
	3.5.4. Опробование и аналитические работы	12
	3.5.5. Подсчет прогнозных ресурсов и запасов и их геолого-экономическая оценка	13
	3.6. Заключение	15
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	16
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример оформления титульного листа	18
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Образец оформления штампа на листах графики	19

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Целью курсового проекта по дисциплине «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых» является формирование у будущих специалистов системы знаний, раскрывающих методологию решения геологоразведочных задач и принципы геолого-экономической оценки месторождений.

Проектирование является сложным и ответственным видом работ. От качества проекта на производство геологоразведочных работ во многом зависит их конечный результат. Во время обучения в вузе основное внимание уделяется ознакомлению с новой информацией, большей частью теоретического характера. Молодой специалист, оказавшись на производстве, остро ощущает недостаток практического опыта. В первую очередь это касается необходимости принимать самостоятельные инженерные решения, направленные на выполнение геологического (технического) задания. Составляя курсовую работу, студенты приобретают определенные навыки в проектировании геологоразведочных работ, необходимые в дальнейшем для разработки выпускной квалификационной работы (дипломного проекта) и будущей профессиональной деятельности.

Курсовая работа выполняется студентами 5-го курса на базе материалов, собранных при прохождении преддипломной производственной практики. При отсутствии необходимых данных, требуемых для составления работы, сведения предоставляет кафедра. В том случае, если студент располагает достаточно представительным материалом, позволяющим произвести его углубленную обработку с использованием современных компьютерных технологий и на этой основе рассмотреть те или иные вопросы, составление проекта может быть заменено решением той или иной методической задачи геологоразведочной направленности.

Для подготовки курсовой работы студенты во время прохождения производственной практики должны собрать необходимые графические и текстовые материалы. Графические материалы включают: 1) геологическую

карту района работ в масштабе 1:50 000, 1:100 000 или 1:200 000 с разрезами, стратиграфической колонкой и условными обозначениями (легендой); 2) геологическую карту (план) месторождения (рудного поля) масштаба 1:25 000, 1:10 000 или крупнее; 3) геологические разрезы по месторождению или его части; 4) план подсчета запасов (продольная проекция). Графика сопровождается описанием геологии района и месторождения (участка), методики геологоразведочных работ, данными по подсчету запасов с результатами геолого-экономической оценки.

Для курсового проекта допускается отсутствие геологической карты района, однако для дипломного проекта она необходима. Исключение составляют проекты по нефтяным и газовым объектам, для которых вместо геологической карты района представляется, как правило, мелко-среднемасштабная тектоническая схема с указанием важнейших нефте-газоносных структур.

Главной задачей курсового проекта является обоснование методики геологоразведочных работ, отвечающих определенной стадии. В соответствии с Положением о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (1999) темой курсового проекта оценочные работы, разведка, или эксплуатационная разведка, например:

- оценочные работы на проявлении Нырдвоменшорское на медноколчеданное оруденение (Полярный Урал);

- разведка Главной рудной зоны Сусанского месторождения золота (Свердловская область);

- разведка глубоких горизонтов Астафьевского месторождения бокситов (Южный Урал);

- разведка северного фланга Мансуровского месторождения гранитов (Южный Урал);

- эксплуатационная разведка южной части нижнего рудного уровня Узельгинского месторождения (Челябинская область).

Независимо от выбранной стадии при выполнении курсового проекта студент должен решить следующие инженерные задачи:

- осветить степень геологической изученности рассматриваемой площади;

- определить главные задачи проектируемых работ;

- сформулировать целевое геологическое задание;

- выбрать и обосновать комплекс методов для выполнения целевого задания, определить виды и объемы запроектированных работ;

- произвести проектный подсчет запасов по объекту изучения с их геолого-экономической оценкой.

Задание на составление курсового проекта оформляется на специальном бланке, которое выдается преподавателем. На бланке указывается тема (название) проекта и сроки его выполнения. Преподаватель помогает студенту составить план проекта, рекомендует необходимую литературу, оказывает индивидуальные консультации.

На выполненный проект преподавателем пишется рецензия. Окончательная оценка выставляется после публичной защиты.

При подготовке методических рекомендаций использованы учебно-методические разработки кафедры ГПР МПИ к составлению курсовых проектов по дисциплинам «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» (А. Г. Баранников, 2013) и «Разведка и геолого-экономическая оценка МПИ» (Балахонов В. С., 2005), с которыми студенты могут подробнее ознакомиться на кафедре.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовой проект состоит из текстовой части и графических приложений. Текст работы не должен превышать по объему 25-35 страниц машинописного текста и включает следующие разделы (в скобках указан ориентировочный объем):

- титульный лист;

- оглавление;

- введение (1 стр.);
- общие сведения о районе работ (1-2 стр.);
- геологическое строение района (2-5 стр.);
- геологическая характеристика объекта (4-6 стр.);
- методика и объемы проектируемых работ (12-14 стр.);
- подсчет запасов, их геолого-экономическая оценка (2-3 стр.);
- заключение (1 стр.);
- список использованной литературы.

Текст работы представляется в распечатанном виде. Допускается также рукописный вариант. Страницы текста должны соответствовать формату А4 (297х210 мм). Поля по всему периметру – 20 мм. Перед текстовой частью помещается титульный лист (приложение 1), индивидуальное задание и оглавление.

Текст иллюстрируется схемами, фотографиями, зарисовками. Они должны иметь наименования, условные обозначения, масштаб и обозначаются как рисунок под соответствующим номером.

Графические приложения представляются на двух или трех листах. В правом нижнем углу помещается штамп установленного образца (приложение 2). Первым листом является геологическая карта района со стратиграфической колонкой, легендой, разрезом. Как отмечалось выше, в курсовой проект карта района может не включаться, но для дипломного проекта она необходима. На втором листе помещается геологическая карта месторождения или участка работ. Этот лист является основным и имеет методическое значение. На него наносятся известные месторождения, проявления и пункты минерализации, геохимические и геофизические аномалии, шлиховые ореолы. Здесь же указываются направления геологических маршрутов, проектные геофизические и геохимические профиля, пройденные и проектные геологоразведочные выработки. Второй лист может представлять собой план подсчета запасов по месторождению, участку месторождения, эксплуатируемому этажу или уступу. Карта участка (месторождения) сопровождается одним или двумя типичными

разрезами, в том числе проектным, которые могут быть помещены на отдельном листе. При необходимости в графические приложения включается вертикальная продольная проекция рудного тела с блокировкой запасов и указанием пройденных и проектных выработок.

3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1. Введение

Во введении обосновывается актуальность проекта и характеризуются исходные материалы, положенные в его основу. Оценивается потребность промышленности в данном виде минерального сырья, его конъюнктура на мировом и российском рынках. Рассматривается необходимость развития минерально-сырьевой базы региона в целом и данного вида полезных ископаемых в частности.

Указывается место и сроки прохождения производственной практики, организация, должность, выполнявшиеся работы. Приводятся основные фондовые и литературные источники, использованные при написании работы.

3.2. Общие сведения о районе работ

3.2.1. Географо-экономическая характеристика района

Указывается административное положение района работ, ближайшие населенные пункты, пути сообщения, возможности использования разных видов транспорта, ведущие промышленные объекты, источники энергообеспечения, наличие стройматериалов, возможности найма рабочих на месте. Описывается орогидрография: характер рельефа, абсолютные и относительные превышения, климат, гидрографическая сеть, режимы рек, источники питьевого и технического водоснабжения, наличие карстовых явлений, многолетней мерзлоты. Характеризуется растительный и животный мир, распространение покровных образований, кор выветривания, их мощности. Особо отмечается обнаженность пород, дешифрируемость аэро-космоснимков.

Перечисленные данные позволяют произвести анализ природных условий ведения геологоразведочных работ, учитываются при геолого-экономической оценке рудных объектов.

Для иллюстрации раздела приводится мелкомасштабная обзорная карта (схема) района с указанием местоположения участка работ.

3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ

Кратко освещаются основные результаты ранее выполненных на площади геологических, геофизических, геохимических и других видов работ. Обзор проводится в хронологическом порядке. Текст может сопровождаться схемами изученности.

Оценивается достоверность ранее выполненных исследований и обосновывается выбор участка проектируемых работ, обсуждается степень его разведанности, изученность вещественного состава с точки зрения комплексного использования полезных ископаемых, а также возможные перспективы продолжения оруденения на глубину или фланги месторождения, обнаружения слепых рудных тел.

3.3. Геологическое строение района

Приводятся данные о геолого-структурной позиции участка работ. Последовательно излагаются сведения по стратиграфии и литологии, магматизму, тектонике, гидрогеологии и полезным ископаемым. Для районов, перспективных на россыпное оруденение, дается геоморфологическая характеристика.

При описании полезных ископаемых кратко описываются все известные месторождения и рудопроявления, включая сведения о размерах залежей, их форме, минеральном составе, принадлежности к определенному рудно-формационному промышленному типу.

В дипломном проекте текст сопровождается геологической картой района со стратиграфической колонкой, условными обозначениями (легендой) и

разрезами. При подготовке раздела следует обратить внимание на совпадение текстовых и графических материалов. В тексте должны быть охарактеризованы свиты и комплексы, представленные на графике. Соответственно, геологическая карта, колонка, легенда и разрезы должны содержать одни и те же стратиграфические и интрузивные образования.

3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)

В зависимости от проектируемой стадии ГРР объектом работ является перспективный район, участок, рудопроявление или месторождение.

В данной главе уточняются и детализируются сведения, представленные в предшествующем разделе. Рассматриваются структурно-вещественные комплексы, образующие геолого-структурную позицию участка или месторождения. К ним относятся вмещающие горные породы, магматические тела, разломы, складки, вулканические структуры, геологические контакты.

В целом, описание участка или месторождения обычно включает следующие позиции:

- горные породы, участвующие в его строении;

- структурный контроль в размещении оруденения или структура рудного поля;

- характеристика выявленной минерализации. Для поздних стадий ГРР обязательно описывается форма, размеры, условия залегания рудных тел, вещественный состав руд, их текстурно-структурные особенности, первичная и вторичная зональность, генезис месторождения, а также характеризуются горно-геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождения.

Раздел иллюстрируется крупномасштабной геологической картой месторождения, детальными геологическими разрезами, в том числе обязательно проектным. При необходимости представляется продольная проекция, построенная в плоскости падения, или вертикальная, на которой показано размещение запасов разных категорий.

3.5. Методика и объемы проектируемых работ

3.5.1. Целевое геологическое задание

С учетом представленного выше обоснования формулируется геологическое задание, которое должно отвечать определенной стадии геологоразведочного процесса:

- оценочные работы;
- разведка участка месторождения, флангов, глубоких горизонтов;
- эксплуатационная разведка.

При формулировке задания важно отметить, какой промышленный тип оруденения ожидается, оговорить границы участка проектируемых работ и их масштаб.

3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ

При проектировании оценочных и разведочных работ методические вопросы решаются на основе анализа особенностей структуры участка, формы, размеров и условий залегания тел полезных ископаемых, изменчивости выявленных параметров оруденения (мощности, содержания полезных компонентов).

В соответствии с инструктивными материалами ГКЗ МПР РФ, определяется группа сложности месторождения, перечень основных видов работ, необходимых для решения задач данной стадии, плотность сети наблюдения для разных категорий запасов. Обосновывается система разведки и технические средства, расположение и порядок проходки технических средств.

Описание каждого вида работ завершается расчетом проектных объемов.

3.5.3. Прочие виды работ

Обязательным элементом геологоразведочных работ являются топо-геодезические или маркшейдерские исследования. Рассмотрение этого вопроса начинается с анализа имеющейся топоосновы. Предусматривается инструментальная привязка опорной сети геофизических наблюдений, буровых скважин и горных выработок, базисных линий на участках детализационных работ.

На стадии разведки обязательно должна быть описана методика гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений с определением объемов этих работ.

Обязательным элементом разрабатываемого проекта является рассмотрение экологических вопросов. Необходима оценка влияния геологоразведочных работ на окружающую среду. Это влияние может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, исключении из хозяйственного оборота плодородных земель и т.д. В проекте должны быть предусмотрены мероприятия, предотвращающие или уменьшающие вредное воздействие ГРР на экологию.

3.5.4. Опробование и аналитические работы

С учетом типа оруденения, особенностей вещественного состава, формы, предполагаемой мощности рудных залежей, а также планируемых объемов горноразведочных и буровых работ, предусматриваются необходимые виды опробования – химическое, минералогическое, техническое, технологическое. Обосновываются способы отбора проб, необходимые для решения поставленных задач (штуфное, бороздовое, точечное, керновое и т.д.). Обсуждаются возможности использования геофизических методов опробования. Дается схема обработки проб на отдельно вычерченном листе в текстовой части проекта.

Перечисляются планируемые виды лабораторных работ, определяются их объемы с учетом внутреннего и внешнего контроля (3-5% от общего объема проб). Аналитические исследования в зависимости от типа полезного ископаемого и целевого назначения проекта могут включать следующие виды испытаний проб: химический, минералогический, спектральный, пробирный, атомно-абсорбционный, рентгено-спектральный, рентгено-структурный и др. Для каждого вида аналитических исследований определяются цели и решаемые задачи.

3.5.5. Подсчет проектных запасов и их геолого-экономическая оценка

На стадиях оценочных и разведочных работ одним из завершающих этапов проектирования является оконтуривание тел полезных ископаемых на месторождении, его флангах, глубоких горизонтах с переводом прогнозных ресурсов и запасов в более высокие категории. Для этого необходимо дать характеристику как уже оцененных, так и ожидаемых ресурсов и запасов.

Указываются кондиции, принятые для оконтуривания залежей и выделения подсчетных блоков. Излагается методика подсчета запасов по результатам проектируемых работ. Выбирается и обосновывается способ подсчета запасов в зависимости от особенностей геологического строения месторождения (формы, состава, условий залегания). Излагаются принципы выделения категорий запасов по степени разведанности (плотности разведочной сети) и изученности (выхода керна, вещественного состава руд, технологических, горнотехнических и гидрогеологических условий) для месторождений разных групп по сложности геологического строения. Раскрываются принципы выделения подсчетных блоков и проведение их границ на выходах, флангах и по падению. Характеризуются параметры подсчета запасов, методика их обоснования (площади подсчетных блоков, мощности, среднее содержание, объемная масса). Приводится сводный формуляр подсчета общих ожидаемых запасов по категориям. Контуры категорий запасов, выделенных на основании проектируемых работ, рекомендуется закрасить следующими цветами: категория А – розовый, В – зеленый, C_1 – голубой, C_2 – желтый.

Методика геолого-экономической оценки на разных стадиях геологоразведочного процесса не одинакова.

Основной инструмент геолого-экономической оценки – обоснование кондиций. По материалам завершенных геологоразведочных работ (разведка, доразведка) для определения целесообразности и экономической эффективности освоения месторождения составляют постоянные кондиции.

ГЭО осуществляется поэтапно. На стадии оценочных работ – по укрупненным показателям, без учета налогов, отчислений и платежей, а позднее по результатам разведки – с их учетом.

В условиях рыночных отношений оценку эффективности освоения месторождений, а также сравнение различных инвестиционных проектов и выбор лучшего из них, производят с использованием следующих показателей.

1. Чистый дисконтированный доход, или чистая дисконтированная стоимость, интегральный стоимостной эффект (ЧДД) – это превышение интегральных денежных результатов над соответствующими интегральными затратами или сумму всех доходов от эксплуатации месторождения за весь расчетный период. Освоение месторождения считается эффективным при положительном значении величины чистого дисконтированного дохода. При отрицательном значении ЧДД рассматриваемый вариант инвестиционного проекта должен быть признан убыточным.

2. Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных доходов к величине приведенных инвестиций. В экономически эффективных проектах величина индекса доходности должна быть больше единицы.

3. Внутренняя норма доходности (ВНД), или внутренняя норма прибыли, рентабельность возврата инвестиций. ВНД означает норму дисконта, при которой величина приведенных доходов равна приведенным инвестициям, а чистый дисконтированный доход становится равным нулю. Освоение месторождения считается эффективным и приемлемым, если ВНД>Е, где Е – принятая в расчете норма дисконтирования прибыли.

4. Срок окупаемости капитальных вложений ($Т_о$) с учетом дисконтирования стоимостных показателей определяет временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы равны приведенным инвестициям. Приемлемым считается срок окупаемости инвестиций, равный 5-7 годам. Предельное значение $Т_о$ составляет 10 лет.

Процесс геолого-экономической оценки месторождения завершают выбором оптимального варианта освоения объекта, для которого определены кондиции и показатели экономической эффективности его освоения.

При геолого-экономических расчетах необходимо использовать рекомендуемые учебные пособия кафедры.

3.6. Заключение

В заключение работы приводятся краткие выводы по каждой главе и проекту в целом.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Баранников А. Г., Никулина И. А., Хасанова Г. Г. Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / А. Г. Баранников, И. А. Никулина, Г. Г. Хасанова; Урал. Гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Тзд-во УГГУ, 2018ю – 184 с.

Баранников А. Г., Макарова С. В. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. – 95 с.

Дворник Г. П., Угрюмов А. Н. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и техногенного сырья: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. – 220 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Научные основы поисков и разведки). М.: Недра, 1984. – 285 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Производство геологоразведочных работ). М.: Недра, 1985. – 288 с.

Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Утверждена приказом МПР РФ от 07.03.1997. – 9 с.

Петруха Л. М. Разведка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. – 247 с.

Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М.: ВИЭМС, 1999. – 28 с.

Рудничная геология / В. Ф. Мягков, А. М. Быбочкин, И. И. Бугаев и др. М.: Недра, 1986. – 199 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Образец выполнения титульного листа

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
Уральский государственный горный университет
Факультет геологии и геофизики

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему:

РАЗВЕДКА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ОГАНЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА (КАМЧАТКА)

Руководитель
доц. Никулина И. А.

Студент
Попов С. М.

Группа
РМ-15

Екатеринбург – 2018

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Образец заполнения штампа к чертежам

<table>
<tr><td></td><td colspan="4">Министерство образования и науки РФ
Уральский государственный
горный университет</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Исполнитель:
студент
гр. РМ-15
С. М. Попов</td><td colspan="3">Геологический план
Оганчинского месторождения</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Руководитель:
доцент
И. А. Никулина</td><td colspan="3">К курсовому проекту на тему:
«Разведка глубоких горизонтов
Оганчинского месторождения золота
(Камчатка)»</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>Масштаб
1:1000</td><td>Дата</td><td>Приложение
№ 2</td><td>20</td></tr>
<tr><td></td><td>50</td><td>30</td><td>35</td><td>35</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">150</td><td></td></tr>
</table>

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.Л. Зуторов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МПИ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Тема	Название	Стр.
	Введение	3
1	Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения	5
2	Геологические основы разведки	15
3	Методические основы разведки	40
4	Подсчет запасов полезных ископаемых	69
5	Геолого-экономическая оценка месторождений	88
	Заключение	104

Введение

Геологоразведочные работы являются важнейшим фактором устойчивого развития экономики страны. Сырьевую базу в настоящее время составляют *более ста видов твердых полезных ископаемых.* Усилиями многих поколений российских геологов найдены и введены в промышленное освоение тысячи месторождений полезных ископаемых. На этой основе создана уникальная минерально-сырьевая база страны.

Россия занимает места в *первой пятерке стран мира* по запасам и добыче железных и медных руд, золота, серебра, платиноидов, вольфрама, молибдена, кобальта, никеля. За счет этих руд государство обеспечивает внутренний рынок, эксплуатирует значительные объемы сырья и продукции его переработки. Бюджет государства во многом формируется за счет освоения минерально-сырьевых ресурсов. Экспорт продукции (по данным Федерального агентства по недропользованию РФ) составляет 50-70 % от объема добычи (по вольфраму, кобальту, никелю, меди, золоту, платиноидам. Существенна роль России как мирового производителя и экспортера алмазов, апатита, калийных солей, хризотил-асбеста, бора.

В то же время далеко не благополучным является состояние минерально-сырьевой базы по таким полезным ископаемым, как цинк, свинец, олово, сурьма, барий, графит и др. Внутреннее потребление этих видов сырья определяет необходимость их ввоза из-за рубежа. Многие районы с горнопромышленной направленностью испытывают в настоящее время острый недостаток в добываемом сырье (по железу, меди, свинцу, цинку, золоту). К остродефицитным полезным ископаемым также относятся бокситы, титан, цирконий, бентониты, каолины и др.

Итак, минерально-сырьевой комплекс был и остается *гарантом дальнейшего развития страны* на длительную перспективу, источником получения средств на реконструкцию и техническое перевооружение промышленности. Поэтому подготовка высококвалифицированных кадров в области «разведочного дела» в рамках специализации «Геологическая съемка, поиски и разведка твердых полезных ископаемых» (направления 25.05.02 «Прикладная геология») остается актуальной и востребованной задачей.

Содержание Учебного пособия во многом базируется на обобщении научного и учебно-методического материала, содержащего в учебниках, учебных пособиях, методических рекомендациях, подготовленных в разные годы. В первую очередь, необходимо упомянуть работу В. М. Крейтера (1940) по поискам и разведке месторождений полезных ископаемых, а также труды тех, кто продолжал развивать и углублять сформулированные В. М. Крейтером научные проблемы и направления (работы А. Б. Каждана, Е. О. Погребицкого, В. И. Тернового, Г. С. Поротова, Л. И. Четверикова, П. П. Ясковского, В. В. Шелелева, в том числе сотрудников кафедры поисков и разведки МПИ – В. Ф. Мягкова, А. С. Вершинина, И. И. Бугаева, Л. М. Петрухи, Ю. К. Панова и др.). Из публикаций этих авторов в Учебном пособии заимствована большая часть приведенных в пособии таблиц и иллюстраций.

Современная геологическая наука не может ограничиваться изучением лишь качественных сторон явлений и процессов. Она «должна выявлять их количественные

характеристики, обеспечив тем самым более высокий научный уровень исследования земных недр» (Каждан, Гуськов, 1990). Необходимость внедрения математических методов при решении геологоразведочных задач признается в настоящее время всеми геологами. Их применение обеспечивает возможность перехода от словесных, часто субъективных определений изучаемых объектов, к их более объективным количественным оценкам. Накопленный на кафедре опыт математической обработки собранной геологической информации отражен в 11, 13 и 15 главах пособия. Более подробно вопросы количественной обработки накопленной геологической информации рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Студент должен:

А. знать:

- задачи, принципы, технические средства и системы разведки; классификацию запасов полезных ископаемых; требования промышленности к качеству минерального сырья на стадии разведки;
- методики комплексной оценки минерального сырья;
- подходы к сбору и обработке количественной геологической информации с использованием компьютерных технологий.

Б. уметь:

- составлять проекты на геологоразведочные работы, обосновывать рациональную разведочную сеть;
- оконтуривать запасы разных категорий, выполнять подсчет запасов разными методами;
- выполнять оценку географо-экономических, горнотехнических условий освоения месторождений, технологических свойств минерального сырья.

В. владеть:

- методикой обоснования видов и объемов проектируемых работ;
- приемами определения параметров при подсчете запасов полезных ископаемых;
- методикой определения величины инвестиций, показателей эффективности освоения месторождения в базовом и коммерческом вариантах.

Тема 1
Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЕЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Разведка месторождений – это комплекс работ и связанных с ними исследований, направленных на выявление, оконтуривание и геолого-экономическую оценку запасов минерального сырья в недрах. Разведочные работы вносят определяющий вклад в геологическое изучение минерализованных участков недр на предпроектной стадии промышленного освоения объекта. По завершению разведки и получению положительных результатов геолого-экономической оценки изучаемое проявление полезного ископаемого приобретает *статус месторождения.*

Разведка начинается с момента составления проекта на производство геологоразведочных работ. Обычно эти работы включают: геологическое картирование площади рудного поля и месторождения; выявление и оценку выходов рудных тел; проходку горных выработок и скважин, их документацию и опробование; проведение комплекса геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических исследований; геодезическую съёмку. По результатам геологоразведочных работ составляют геологические разрезы, планы, проекции. Они отражают размеры, условия залегания и строение тел полезных ископаемых. Дается характеристика полезного ископаемого, подсчитываются его запасы. На основе полученных данных проводится геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождения, обосновываются выводы о его промышленном значении. Все сказанное позволяет отметить, что разведка как прикладная геологическая наука находится на стыке областей знаний, включающих: накопленные сведения о геологическом строении месторождения, его сопоставление с определенным геолого-промышленным типом; вопросы горного дела (в связи с обоснованием способа разработки месторождения); определение потенциальной ценности объекта, рентабельности его разработки; обоснованность задействованных технических средств разведки, влияющих на надежность получаемых результатов; обработку полученных результатов с использованных современных компьютерных технологий (рис. 1).

Основной *целью* выполняемых геологоразведочных работ является *получение информации,* необходимой и достаточной для: проектирования предприятия по добыче полезного ископаемого и переработке минерального сырья, реконструкции действующего рудника, определения путей его дальнейшего развития, оценки перспектив выявления новых тел полезных ископаемых на площади рудного поля. Собранная и качественно обработанная информация должна обеспечить *решение основной задачи* разведочных работ – подготовку месторождения к промышленному освоению.

Успешному решению сформированных задач должно способствовать: построение цифровых моделей месторождений с использований IT технологий; реализация разведочных систем, соответствующих природным особенностям объекта и обеспечивающим надежное локальное прогнозирование геолого-промышленных параметров.

Сущность разведки сводится к оконтуриванию, прослеживанию промышленно ценных участков природных скоплений полезного ископаемого путем выборочного пересечения минерализованного объема недр разведочными выработками (скважинами, горными выработками) с последующим геологическим и геофизическим их изучением (документацией) и опробованием. Таким образом, информацию, необходимую для принятия проектных решений по разработке и переработке добываемого минерального сырья, получают на весьма скудном материале. Разведка обычно не позволяет раскрыть все детали строения минерализованных пород. Отчасти эти задачи решаются при использовании геофизических методов (в том числе, зондирования межскважинного пространства), а также на стадии эксплуатационной разведки. Материалы разведки позволяют сконструировать *модель месторождения,* которая по своим параметрам должна быть максимально приближена к истинному объекту (рис. 2). Возможность разработки технических проектов на основе обобщения ограниченной разведочной информации подтверждена практикой разведки и освоения месторождений. Здесь работает известный в математической статистике выборочный метод исследования оцениваемых свойств (в разведке – геолого-промышленных параметров) на основе обобщения данных лишь части свойств, вошедших в изучаемую выборку (Петруха, 2003). На каждой последующей стадии геологоразведочных работ формируемая выборка свойств становится более представительной. На современном этапе изучения недр все недропользователи обязаны выполнить необходимые расчеты по геолого-экономической оценке (ГЭО) обосновываемых запасов и прогнозных ресурсов. Оценка является исследовательским процессом, связанным с выявлением возможных конкурентоспособных вариантов оконтуривания и промышленного освоения запасов месторождения и выбором среди них рационального с позиций максимальной доходности предприятия. Наиболее полная ГЭО осуществляется по результатам разведки месторождения. Оценка по результатам поисков базируется на тех же единых методологических принципах, но из-за ограниченности имеющихся материалов является малодостоверной (Шевелев, 2004).

При проведения ГЭО учитываются следующие положения:

1. Обоснование рационального и комплексного использования недр, включающее основные и попутные компоненты, отходы добычи и переработки сырья.
2. Определение показателей эффективности освоения месторождения (ЧДД – чистый дисконтированный доход, ИД – индекс доходности, ВНД – внутренняя норма доходности, Р – рентабельность разработки, Т – срок окупаемости капвложений).
3. Учет обязательных платежей и налогов, плата за кредит (необходимый для организации работ по разработке месторождения).
4. Учет фактора времени и риска при оценке месторождения.
5. Оценка экологических и социальных последствий разработки месторождения.
6. Выбор оптимального варианта освоения месторождения.
7. Обоснование кондиций на минеральное сырье.

Важнейшие результирующие показатели ГЭО, установленные параметры кондиций, подсчитанные с их использованием балансовые и забалансовые запасы вносятся в Государственный кадастр месторождений полезных ископаемых. При этом необходимо

отражать в кадастре два подхода к оценке объекта – базовый и коммерческий, чтобы при необходимости оперативно осуществлять переоценку месторождения.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИИ СТАНОВЛЕНИЯ УЧЕНИЯ О РАЗВЕДКЕ НЕДР

Учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых пришло из потребностей горного дела. Долгие годы работы по поиску и добыче руд велись на основе опыта многих поколений рудознатцев. Разработки в этой области знаний методического и организационного характера появились значительно позже. Первые труды принадлежат Г. Агриколе (1530), И. А. Шлаттеру (1760), М. В. Ломоносову (1763). Целая эпоха в развитии горного промысла и геологии связана с именем Петра I. Им был организован «Приказ рудокопных дел», реорганизованный в 1719 г. в Берг-коллегию. Коллегия взяла на себя руководство горнозаводской промышленностью Российской империи.

В XIX веке разведка месторождений не проводилась. Открытые месторождения сразу же вовлекались в разработку. Разведочные методы начинают развиваться и совершенствоваться в конце XIX века и позднее. Первыми в этом направлении были работы проф. Войслова (1899), проф. Корзухина (1908), В. С. Реутовского, Б. И. Бокия (1914).

Методологические основы разведки складывались и совершенствовались по мере расширения сырьевой базы страны, развития горнорудной промышленности. Однако в начале XX века разведочное дело ещё не имело самостоятельного развития и рассматривалось как один из разделов учения о полезных ископаемых. Первая работа по экспертизе и оценке рудных месторождений была опубликована Н. И. Трушковым в 1922 г. В 1924 г. в Петроградском горном институте К. П. Марковым прочитан курс разведочного дела. Начиная с 1927 г. этот курс читал И. С. Васильев, впервые изложивший важнейшие методические положения разведки.

Основоположником учения о поисках и разведке полезных ископаемых по праву считается В. М. Крейтер. Им были организованы кафедры поисков и разведки МПИ в Московском геологоразведочном институте и Институте цветных металлов и золота. Его фундаментальный труд «Поиски и разведка полезных ископаемых», изданный в 1940 г., несколько раз переиздавался и стал настольной книгой геологов-разведчиков нескольких поколений.

В 1922 г. кафедра поисков и разведки МПИ была организована в Уральском (Свердловском) горном институте. Её первым заведующим был назначен руководитель геологической службы Урала Б. В. Дидковский. В последующие годы кафедру возглавляли А. П. Смолин, В. П. Любимов, П. И. Кутюхин, М. Н. Альбов, И. И. Бугаев, В. Ф. Мягков, А. Г. Баранников. В 1999 г. произошло объединение ряда кафедр геологического факультета. Объединенную кафедру геологии, поисков и разведки МПИ возглавил проф. В. А. Душин.

Большой вклад в развитие теории и практики разведочного дела, опробования и подсчета запасов полезных ископаемых внесли исследования М. Н. Альбова, Н. В. Барышева, И. Д. Когана, А. П. Прокофьева, В. И. Смирнова, Е. О. Погребицкого, Г. С. Поротова и др. Научные основы геометризации недр заложены исследованиями П. К. Соболевского (1926-1932). Он рассматривал тела полезных ископаемых как совокупность

взаимно связанных геохимических полей и на этой основе сформулировал принципы геометрического моделирования.

В середине XX века во все отрасли геологии, включая вопросы оценки месторождений, проникли математические методы обработки информации. Этому способствовало появление и развитие электронно-вычислительной техники, а позднее – IT технологий. Кроме теории вероятности и математической статистики случайных величин, в теорию и практику исследований стали проникать методы многомерного статистического анализа, теории случайных функций и гармонического анализа, теории множеств, линейной алгебры, распознавания образов и других разделов математики.

При рассмотрении теоретических вопросов методики разведки месторождений и опробования акцент был сделан на изучении изменчивости свойств полезных ископаемых. А. С. Власов, Д. А. Казаковский и др. исследователи предложили использовать первые и вторые последовательные разности значений исследуемых показателей изменчивости по смежным точкам. При обобщении результатов статистической обработки данных П. Л. Каллистов (1956) обратил внимание на то, что любой статистический показатель отражает лишь средний уровень изменчивости изучаемого свойства и не учитывает влияния пространственного расположения точек наблюдений. Им было предложено учитывать случайные и закономерные изменения наблюдаемых признаков. При этом дисперсию случайных отклонений следовало определять не от генеральной средней, а с учетом рассчитанной кривой регрессии, отстраиваемой с использованием процедуры сглаживания совокупности прилегающих к конкретной точке проб. Дальнейшее развитие этот подход при изучении изменчивости свойств залежей получил в работах В. Ф. Мягкова (1984). Он предложил исследовать закономерности распределения компонентов в рудных полях с использованием *геометро-статистической модели*. При отстройке одномерных графиков изменчивости геологических параметров по разным направлениям рудных залежей с использованием интерполяционного полинома удается выявлять уровненное строение геологических полей и на этой основе решать целый ряд практических вопросов разведки: оптимальный шаг опробования; зональность строения залежей, их анизотропию и др.

Начиная с шестидесятых годов XX века, появилось много публикаций по исследованию изменчивости оруденения с использованием *методов теории случайных функций* и *гармонического анализа* (работы А. Б. Каждана, З. Д. Низгурецкого, А. М. Марголина и др.). Изменчивость изучаемых признаков рассматривается как функция расстояния между смежными пунктами наблюдений. При этом необходим учет влияния формы и размера проб, отражающих неоднородность строения недр. В это же время при изучении изменчивости и оценке запасов руд зарубежными геологами (Ж. Матерон, М. Давид, Э. Карлье, Д. Криге и др.) было предложено задействовать *геостатистические модели.* В основе данной модели лежит предположение, что получаемые результаты зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдения результаты измерений меняются, и поэтому их следует рассматривать как случайные величины. Рассчитанный средний квадрат разности измеренных значений при этом зависит от расстояния между пунктами. Важной характеристикой геостатистических

моделей служит вариограмма, отражающая функцию среднего квадрата разности от расстояния между пунктами наблюдений. Для отдельных объектов установлено присутствие нескольких типов вариограмм: с регулярной пространственной переменной, с эффектом самородков, сферической и др. На отстроенных вариограммах возможно определение порогового значения, отражающего зону влияния между соседними пробами.

На современном этапе при обобщении результатов геологоразведочных работ все чаще задействуют геостатистические методы с использованием IT технологий (программы “Micromine”, “Datamine”, “Surpac” и др.).

ОСНОВЫ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ О НЕДРАХ

Основным законом, регламентирующим недропользование в РФ, является Федеральный закон «О недрах», принятый в 1992 г. Закон неоднократно дополнялся и редактировался, его последняя редакция принята в 2015 г. (Закон РФ «О недрах»).

Согласно тексту закона недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже поверхности Земли и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубины, доступной для геологического изучения и освоения.

Основные положения горного права

К основным положениям Горного права относятся:

- право собственности на недра как один из элементов природной среды;
- право собственности на извлеченные из недр полезные ископаемые и используемые полезные свойства недр;
- право собственности на имущество и геологическую информацию, создаваемые в процессе пользования недрами.

Право собственности на недра в России действующими правовыми актами определяется следующим образом:

- недра находятся в государственной собственности;
- владение, пользование и распоряжение недрами в пределах государственной границы находится в совместном ведении Российской Федерации и ее субъектов (так называемое «правило двух ключей»), а за пределами границы (в морской экономической зоне и на континентальном шельфе) – в исключительном ведении Российской Федерации;
- владение, пользование и распоряжение недрами осуществляется в интересах всех народов, проживающих на соответствующей территории, и всех народов Российской Федерации.

Недра предоставляются в пользование субъектам предпринимательской деятельности для изучения, добычи полезных ископаемых, строительства подземных сооружений, организации особо охраняемых геологических объектов или сбора минералогических коллекций на определенный срок или без ограничения срока.

Участки недр с находящимися в них минеральными ресурсами не могут быть предметом купли-продажи, дарения, наследования, вклада, залога или отчуждения в иной форме. Права пользования недрами могут отчуждаться или переходить от одного лица к другому в той мере, в какой их оборот допускается федеральными законами.

Право собственности на минеральное сырье, добытое из недр, появляется в процессе добычи полезных ископаемых. Добытые из недр полезные ископаемые могут находиться в федеральной собственности, собственности субъектов Федерации, муниципальной, частной и иных формах собственности. Вопрос о форме собственности на добытое полезное ископаемое определяется условиями лицензионного соглашения.

Право собственности на горное имущество и геологическую информацию определяется принципом: объект является собственностью того, кто оплатил его создание или приобретение. Однако, геологическая информация, являющаяся собственностью пользователя, должна представляться им по установленной форме в федеральный и территориальный фонды геологической информации (ВГФ, ТГФ). Собственник может лишь оговорить условия конфиденциальности пользования этой информацией в фондах, с учетом собственных интересов.

Система пользования недрами

Недра Российской Федерации могут быть использованы недропользователями для следующих целей.

1. Регионального геологического изучения и иных общих геологических работ без нарушения целостности недр.

2. Геологического изучения, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, а также оценки пригодности недр для строительства подземных сооружений.

3. Разведки и добычи полезных ископаемых, в том числе отходов горных предприятий.

4. Строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых.

5. Образования особо охраняемых геологических объектов.

6. Сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекций. Недра могут предоставляться в пользование одновременно для геологического изучения (поиски, разведка) и добычи полезных ископаемых. В этом случае добыча может производиться как в процессе изучения, так и после его завершения.

Пользование недрами в Российской Федерации, за исключением работ по региональному геологическому изучению и созданию особо охраняемых объектов, является платным.

Недра предоставляются в пользование на определенный срок или без ограничения срока.

Порядок пользования недрами включает три самостоятельных подсистемы:

- предоставление участков недр в пользование;
- пользование недрами в соответствии с установленным видом пользования;
- контроль и надзор за соблюдением установленных требований и ограничений при пользовании недрами.

Предоставление недр в пользование осуществляется на основе лицензирования. Государство, осуществляющее суверенное право на недра, определяет программу освоения недр, участки недр, которые предполагаются предоставить в пользование, и выбор конкретного недропользователя.

Государство определяет условия, на которых предполагается передача недр в пользование. Недропользователь может вести переговоры об изменении этих условий. При достижении согласования, недропользователю оформляется лицензия на право пользования недрами. Лицензия предоставляется совместно органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации и Федеральным органом управления фондом недр.

Работы по *региональному геологическому изучению недр*, выполняемые за счет средств госбюджета, осуществляются без оформления лицензий, но с обязательной регистрацией в территориальных геологических организациях Министерства природных ресурсов. Лицензия на *поиски и оценку* месторождений полезных ископаемых удостоверяет право проведения таких работ только на вид сырья, указанный в лицензии. Лицензия на *добычу* полезного ископаемого может выдаваться на всё месторождение или его часть. Допускается также одновременное предоставление одному пользователю нескольких лицензий на право добычи по группе близко расположенных месторождений, если экономически рентабельной является только совместная их разработка. Лицензия на *разведку* месторождения отдельно не предоставляется и право разведки предусматривается в лицензии на добычу.

Законодательством устанавливается два статуса участков недр, на которые выдается лицензия: геологический отвод и горный отвод. Статус *геологического отвода* предоставляется участкам, предоставляемым для геологического изучения недр без существенного нарушения их целостности. В пределах одного геологического отвода могут быть выданы несколько лицензий на разные виды деятельности, включая, например, поиски и оценку разных полезных ископаемых. В границах геологического отвода могут одновременно проводить работы несколько пользователей недр.

В пределах одного *горного отвода* может быть выдана только одна лицензия одному пользователю, получающему по ней исключительное право деятельности в этих пределах в соответствии с лицензией.

Предоставление недр в пользование осуществляется по результатам конкурсов или аукционов, либо в специальных случаях на основе согласованных решений федеральных органов государственной власти и органов государственной власти субъектов Федерации на бесконкурсной основе. Определение порядка проведения и условий конкурсов и аукционов по каждому объекту или группе объектов осуществляется органами, предоставляющими лицензии. Наименования объектов, выставляемых на конкурсы или аукционы, и их условия публикуются в печати.

Предприниматель, желающий принять участие в конкурсе, подает по установленной форме соответствующую заявку. После официального принятия заявки и уплаты соответствующих взносов заявитель может получить пакет геологической и технико-экономической информации по интересующему его участку недр. Проанализировав эту информацию, заявитель прежде всего решает для себя вопрос о продолжении участия в конкурсе (аукционе) и, при положительном решении, представляет приемлемый для него вариант технико-экономических показателей (ТЭП) ведения работ по намечаемому виду пользования недрами. Указанные ТЭП представляют собой комплекс материалов, обосновывающих принципиальные решения и ожидаемые технико-экономические

показатели по всем вопросам. После приобретения лицензии ее владелец имеет право получения в фондах полного объема геологической информации по предоставленному ему согласно лицензии участку недр (геологическому или горному отводу).

Условия ***пользования недрами*** определяются соглашением собственника недр (государства) в лице его уполномоченных органов и недропользователя. В практике недропользования известны три типа договорных отношений:

- недропользователь вносит плану за пользование недрами и уплачивает другие установленные налоги, но полностью распоряжается всей произведенной продукцией;
- недропользователь и собственник недр заключают соглашение о разделе производимой продукции;
- недропользователь заключает с собственником контракт на предоставление определенных услуг (субподрядные работы).

В первом случае недропользователь осуществляет все работы по реализации предоставленных лицензией прав за счет собственных средств, принимая на себя все риски. Добытая продукция полностью принадлежит ему, хотя условиями договора может определяться реализация части продукции на внутреннем рынке. Недропользователь вносит все установленные платежи, налоги, связанные с его деятельностью. Все сооружения и оборудование, используемые при работах, являются его собственностью.

Во втором случае недропользователь также несет все расходы и принимает на себя риски, связанные с ведением работ, а произведенная продукция делится между ним и собственником (государством) в виде трех частей: компенсационной продукции, предназначенной для возмещения затрат недропользователю, и двух долей прибыльной продукции, разделенных между государством и недропользователем в установленном соотношении. Реализация своих долей продукции осуществляется недропользователем и собственником самостоятельно. Сооружения и оборудование, связанные с недропользованием, переходят в собственность государства либо с момента их создания или приобретения, либо по мере амортизации. Привлекательной стороной соглашения о разделе продукции является иммунитет от новых изменений налогового законодательства, которые не должны ухудшать экономическое положение инвестора, имевшееся на момент составления соглашения.

В третьем случае, недропользователь, также неся все затраты, связанные с проведением работ, либо получает возможность их возмещения при коммерческом результате (например, открытии месторождения при поисках), либо получает заранее оговоренное вознаграждение (оплату) за произведенные работы, но не приобретает никаких прав на добытую продукцию, если таковая будет получена в течение срока действия лицензии или после его истечения.

Контроль и надзор за пользованием недрами осуществляют органы государственного геологического контроля и Федерального горного и промышленного надзора России, а также другие контрольные органы, в соответствии с компетенцией (природоохранные органы, налоговая инспекция, таможенная служба и т. д.) и органы государственной власти.

Государственный геологический контроль включает контроль за геологическим изучением недр и их рациональным использованием и охраной. Органы госконтроля входят в структуру Министерства природных ресурсов и его территориальных подразделений.

Федеральный горный и промышленный надзор России (Госгортехнадзор) выполняет в качестве основной контрольной функции надзор за безопасным ведением работ, включая вопросы проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации горных предприятий.

Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых производится для создания условий комплексного использования недр, определения платы за использование недр и уточнения границ горного отвода. Государственная экспертиза может проводиться на любой стадии геологического изучения недр, но предоставление участков недр для целей добычи разрешается только после их госэкспертизы.

Система платежей при пользовании недрами

Плата за пользование недрами включает разовые и регулярные платежи.

Минимальные (стартовые) разовые платежи за пользование недрами устанавливаются в размере не менее 10 % от величины суммы налога на добычу полезных ископаемых в расчете на среднегодовую проектную мощность добывающей организации. Размеры регулярных платежей определяются в зависимости от экономико-географических условий, размера участка недр, вида полезного ископаемого, продолжительности работ, степени геологической изученности и степени риска. Регулярный платеж взимается за площадь лицензионного участка, предоставленного недропользователю. Ставка регулярного платежа за 1 кв. км участка недр при поисковых и оценочных работах составляет от 27-90 рублей для неметаллических полезных ископаемых до 120-360 рублей для углеводородного сырья; при разведочных работах ставка меняется от 800-1650 рублей для подземных вод до 5000-20000 рублей для углеводородного сырья.

Регулярные платежи не взимаются с недропользователей, осуществляющих:

- пользование недрами для регионального геологического изучения;
- пользование недрами для образования особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение;
- пользование недрами для сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекционных материалов;
- разведку полезных ископаемых на месторождениях, введенных в промышленную эксплуатацию, в границах горного отвода, предоставленного пользователю недр для добычи этих полезных ископаемых.

Кроме разовых и регулярных платежей, законодательством предусмотрены две группы налогов и отчислений. Первая группа учитывается в себестоимости товарной продукции, вторая относится на финансовый результат.

В себестоимость включается налог на добычу полезных ископаемых, дорожный налог, плата за воду, землю, загрязнение окружающей среды и др. Налог на добычу составляет основную часть налоговой суммы первой группы. Ставка налога меняется от 3,8 % для калийных солей до 16,5 % для углеводородного сырья. Налогоплательщики, осуществившие за счет собственных средств поиски и разведку разрабатываемых месторождений или полностью возместившие все расходы на поиски и разведку,

уплачивают налог на добычу с коэффициентом 0,7. При выполнении соглашений о разделе продукции налоговые ставки на добычу применяются с коэффициентом 0,5. Не облагаются налогом полезные ископаемые, остающиеся во вскрышных, вмещающих (разубоживающих) породах, в отвалах или отходах перерабатывающих производств. Дорожный налог взимается в размере 2,5 % от годовой стоимости товарной продукции.

На финансовый результат горного предприятия относят налог на прибыль, налог на имущество, целевые сборы на содержание милиции и благоустройство территории. Налог на прибыль составляет 24 % от годовой прибыли предприятия, налог на имущество – 2 % от его среднегодовой стоимости. Остальные платежи определяются прямыми расчетами.

Горные предприятия также облагаются косвенными налогами, вычисляемыми сверх цены предприятия – налогом на добавленную стоимость (НДС), создаваемую в процессе производства товарной продукции, и таможенными пошлинами, взимаемыми с товарной продукции, вывозимой за пределы Российской Федерации.

Контрольные вопросы к теме 1

1. Что является целью разведки? Какие задачи решает разведка?
2. С какими областями знаний и смежных дисциплин разведка связана?
3. С какими именами известных и выдающихся российских ученых следует связывать становление учения о разведке месторождений?
4. Кто из российских и зарубежных ученых внес значимый вклад в разработку проблем количественной обработки геологической информации (геолого-математического моделирования)?
5. В чем заключаются основные положения законодатедьства РФ о недрах?
6. В каких целях могут быть использованы недра в РФ?
7. Как осуществляется предоставление недр в пользование?
8. Что такое горный и геологический отводы? Чем они различаются?
9. Какие типы договорных отношений установлены между государством и недропользователем?
10. Как осуществляется контроль за пользованием недрами?
11. Какая система платежей установлена за недропользование?

Тема 2
Геологические основы разведки

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОМЫШЛЕННУЮ ЗНАЧИМОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Минеральные скопления в земной коре приобретают статус месторождения по результатам их разведки и при условии обоснования экономической целесообразности промышленного освоения. Основным критерием для промышленного освоения месторождения является размер прибыли, которую предприниматель собирается получить за весь период его эксплуатации.

На экономику промышленного освоения месторождения оказывает влияние совокупность факторов: количество запасов в месторождении (их масштаб), качество минерального сырья, технологические свойства, горно-геологические условия эксплуатации, географо-экономические условия района нахождения месторождения, экологические условия эксплуатации и др. (Каждан, 1977, 1984; Ясковский, 2001, 2010; Шевелев, 2004; Поротов,2004).

Количество запасов в месторождении определяется величиной запасов, оцененных по результатам геологоразведочных работ. Достоверность подсчитанных запасов зависит от степени их изученности (разведанности).

Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в единицах массы (тонн); сыпучих полезных ископаемых (песков, гравия), строительного и облицовочного камня – в единицах объема (кубические метры). Запасы золота измеряются в килограммах, тоннах, а в некоторых зарубежных странах используют тройную унцию (31,103 грамма). Запасы алмазов и драгоценных камней измеряют в каратах (0,200 грамма).

Запасы полезного ископаемого, ценность которого определяется содержанием химического элемента (оксида) или минерала (алмаз, слюда, асбест и др.), оцениваются с определением количества руды и количества металла (минерала). В России запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в недрах, а запасы нефти и газа оцениваются как извлекаемые, так и в недрах.

По величине запасов различают месторождения *уникальные* (их в мире единицы), *крупные* (их десятки), *средние* (их сотни) и *мелкие* (их тысячи). На базе уникальных месторождений создаются ведущие горнодобывающие предприятия. Они во многом определяют состояние минерально-сырьевой базы и сырьевого рынка страны, мира. Крупные месторождения определяют экономику отрасли или крупного региона страны. Средние месторождения имеют значение в пределах отдельных экономических районов, а мелкие – в отдельных случаях. Для каждого вида полезного ископаемого наблюдаются значительные (в десятки раз) изменения запасов при переходе от мелких месторождений к крупным и очень крупным, что обусловлено разнообразием геологических условий образования руд (табл….).

Следует отметить, что отраженные в таблице размеры запасов не являются общепризнанными. В литературных источниках приведены и другие цифры градации запасов, определяющие масштаб оцениваемых объектов. В. И. Краснико (1965) подметил

закономерность, получившую в литературе название «декадной». В 7 % месторождений сосредоточено ~ 65 % запасов, а запасы мелких, средних, крупных и уникальных месторождений отличаются друг от друга примерно на порядок. Мелкие месторождения встречаются часто, а очень крупные редко. Основные запасы сосредоточены в крупных и очень крупных месторождениях. Обобщение данных по России за 1994-1997 гг. свидетельствует, что среди девятнадцати видов полезных ископаемых общее количество мелких объектов составило 723, средних – 184, крупных – 107, очень крупных – 30 (Ясковский, 2001). Распределение суммарных запасов для коренных месторождений страны: на долю мелких объектов приходится 14 %, средних – 30 % и крупных 56 %.

От масштаба месторождений зависят ожидаемые показатели экономической эффективности вовлекаемых в эксплуатацию объектов. С учетом величины запасов можно определить ценность месторождения (потенциальную в недрах или товарную на сырьевом рынке). Полученные значения следует учитывать при определении инвестиционной привлекательности объектов. Другой расчетный экономический показатель – необходимый объем капитальных вложений. Чем больше запасы, тем больше затраты на строительство горнодобывающего предприятия. При этом появляется возможность определить производительность будущего рудника, срок его существования и ориентировочно подсчитать приведенные затраты на освоение месторождения.

Качество минерального сырья – это совокупность природных свойств, определяемых минеральным и химическим составом, структурными и текстурными особенностями сырья, технологическими и физическими свойствами. Высокое качество полезного ископаемого влияет на эффективность переработки руд, способствует улучшению готовой продукции. В геологоразведке и горной промышленности давно используются понятия – «богатые», «бедные», и «убогие» руды. С позиций оценки качества все твердые полезные ископаемые могут быть разделены на *три группы.* Ценность в них может представлять: химический элемент (или химическое соединение, чаще оксид); минерал, обладающий особыми свойствами; вся добываемая горная масса (Шевелев, 2004).

К *первой группе* относятся все руды металлов и горно-химическое сырье (фосфориты, бор, сера). Основным показателем качества сырья является содержание ценного компонента. Содержание оценивается в массовых процентах элемента (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, S, V, As) или оксидов (Cr_2O_3, TiO_2, WO_3, Nb_2O_3, BeO, Be_2O_3, P_2O_5).

В месторождениях комплексных руд (свинцово-цинковых, медно-молибденовых, медно-никелевых и др.) качество определяется с помощью условного содержания главного компонента. В расчетных формулах учитывается: содержание главного компонента, формирующего основную ценность руд; содержание второстепенных компонентов; переводные коэффициенты для перерасчета содержаний второстепенных компонентов в главный компонент.

Содержание в рудах благородных металлов (золота, серебра, платиноидов) из-за низких их концентраций выражается в граммах на тонну руды; в россыпных месторождениях – в г (мг) /$м^3$. Чем большее значение элемента в рудах, тем выше качество полезного ископаемого.

В зависимости от содержания основного ценного компонента руды подразделяются на богатые, рядовые и бедные. Для разных полезных ископаемых конкретные сорта руд отличаются друг от друга (табл.).

При исследовании уровня концентраций полезных компонентов в объеме рудных тел может быть задействован *коэффициент богатства* – отношение среднего содержания к минимально промышленному (Бирюков, Денисов, 1978). Богатыми считаются руды, в которых содержание полезного компонента в 1,5-3,5 раза выше, чем минимальное промышленное; к бедным – менее 1,1-1,2. Какое значение при разведке имеет оконтуривание богатых руд? Во-первых, богатые и очень богатые руды используются при получении концентратов или в металлургии без предварительного обогащения. Во-вторых, высокое качество руд нередко отмечается в локальных участках месторождения. Эти участки называют рудными столбами, кустами, гнездами, карманами, бонанцами (для месторождений золота и серебра). На стадии разведки локальные участки должны быть оконтурены, а подсчет запасов выполнен без ограничения выявленных «ураганных проб».

Ко *второй группе* относятся алмазы, пьезооптическое сырье, слюда, тальк, асбест и др. Качество сырья регламентируется уровнем содержания ценного минерала, размерностью и особенностями кристаллосырья: для асбеста – прочность, гибкость, длина волокна, кислоторастворимость; для слюд – размер пластинок, их ровность, термостойкость; для пьезооптического сырья – масса кристалла, размер бездефектной области моноблока, выход моноблока, степень проявленности дефектов (газово-жидкие включения, трещины, двойники и др.); для алмаза – масса, форма, характер поверхности, цвет, дефектность, наличие сростков (Ясковский, 2001).

К *третьей группе* относятся стройматериалы, твердое топливо, керамическое сырье, огнеупоры, тальк, пирофиллит, минеральные пигменты, цеолиты, бокситы и хромиты. Качество сырья оценивается соответствием его определенных свойств требованиям технических условий (ТУ), отраслевых стандартов (ОСТ), государственных стандартов (ГОСТ) и соглашений с потребителями (Шевелев, 2004). Иногда требуется подразделение сырья на ряд сортов и марок. С учетом целевого использования оцениваемое полезное ископаемое должно удовлетворять конкретным сортовым требованиям.

Итак, количество и качество минерального сырья являются важнейшими факторами оценки разведуемых объектов. Они являются определяющими показателями при геолого-экономической оценке месторождений.

Технологические свойства сырья определяют возможность и экономическую целесообразность переработки минерального сырья с целью получения товарного продукта. Основными показателями, определяющими технологические свойства руд, являются: величина извлечения полезного компонента, содержание полезного компонента в концентрате, выход концентрата.

Технологические свойства минерального сырья зависят от совокупности качественных показателей, из которых кроме содержания полезных ископаемых и вредных примесей первостепенное значение имеют (Каждан, 1977; Шевелев, 2004):

- минеральный состав полезного ископаемого и разубоживающей руды горной массы; распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам;

- форма и размеры полезных минералов, характер их срастаний, текстуры и структуры минеральных агрегатов;
- физические свойства минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, удельная плотность;
- химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Технологические исследования, проводимые в процессе разведки, должны установить возможность извлечения ценных компонентов из руд и обеспечить выбор схемы передела руд, которая может быть использована в промышленных условиях с приемлемыми технико-экономическими показателями. Наличие в сырье попутных компонентов повышает экономическую значимость сырья. Однако ценность попутного компонента всегда следует соотносить с дополнительными расходами на его выделение и учитывать возможность реализации дополнительной продукции.

Рассмотрим примеры, раскрывающие технологические свойства руд и их влияние на переработку минерального сырья (Ясковский, 2001).

Минеральный состав руд определяется присутствием полезных и породообразующих минералов, их количественными соотношениями, формами нахождения, характером парагенетических ассоциаций. Проблемы возникают, когда для выделения основных минералов приходится использовать разные обогатительные процессы. Например: для руд олова основными минералами являются касситерит, станнин, варламовит, гидростаннаты. Эффективно по гравитационной схеме обогащаются касситеритовые руды (плотность 7,0 г/см^3). Другие типы руд с минералами олова (плотность 3,8-4,7 г/см^3) относятся к группе труднообогатимых. Они требуют кроме гравитационного обогащения и других методов: флотации, магнитного и электрического обогащения, пирометаллургии.

Минеральный состав оказывает большое влияние на эффективность флотационного процесса. Хорошо обогащаются сульфиды Pb, Zn, Cu, Mo и плохо – их окисленные формы. Для молибденовых руд основным гипогенным минералом является молибденит – MoS_2, обладающий природными гидрофобными свойствами; но окисленные руды, представленные повеллитом – $CaMoO_4$, ферримолибдитом – $Fe_2O_3{\cdot}3MoO_3{\cdot}8H_2O$ и др., обогащаются с трудом. При этом получаются концентраты невысокого качества из-за легкой шламуемости гипергенных молибденовых минералов в процессе измельчения руды, близости флотационных свойств молибденовых и породообразующих минералов.

Химический состав руд определяется наличием полезных, вредных, петрогенных элементов (оксидов), их содержанием и соотношением, присутствием особенно химически активных форм. Для ряда месторождений схемы и показатели обогащения определяются содержанием элементов и их соотношением. Например, при переработке бокситовых руд для получения глинозема важнейшим является гидрохимический метод Байера. Его использование эффективно для высококачественных руд с кремниевым модулем $M_{si} = Al_2O_3 / SiO_2$ более 5-7. При низком значении M_{si} (высоком содержании SiO_2) руды перерабатываются по более дорогостоящей технологии методом спекания.

При добыче урана методом подземного выщелачивания используют в качестве растворителя кислоты (H_2SO_4). Чем больше карбонатность среды, тем значительней расход

кислоты, сильнее проявляется явление кальматации, тем меньше извлечение урана в продуктивные растворы. Поэтому при существенной карбонатности пород (более 2,0-2,5 % CO_2) извлечение урана с помощью кислоты неэффективно. Нужно переходить на другие схемы.

При характеристике технологических свойств минерального сырья необходим учет *текстурных особенностей руд.* Эти особенности обусловлены размером, формой и характером срастаний минеральных агрегатов. По признаку влияния текстур на процессы переработки минерального сырья их можно подразделить на благоприятные и неблагоприятные. *Благоприятные текстуры* характеризуются крупными размерами скоплений, однородным строением, простыми границами между агрегатами. Для таких руд наиболее эффективны процессы рудоподготовки. Обогащение не вызывает больших затруднений и позволяет получать высококачественные концентраты. *Неблагоприятные для обогащения текстуры* имеют небольшие размеры минеральных скоплений, неоднородное строение агрегатов, сложные и постепенно изменяющиеся границы между ними. Подобные руды требуют сложных, многостадийных процессов рудоподготовки и обогащения.

При изучении технологических свойств полезного ископаемого возможно выделение природных и технологических типов руд. В результате специальных исследований анализируется пространственное распределение этих типов, их геометризация в рамках *геолого-технологического картирования.*

Горно-геологические условия эксплуатации определяют возможность и экономическую целесообразность отработки месторождения с учетом современного состояния горной техники. Каждый выбранный способ разработки месторождения предъявляет свои требования к условиям залегания полезного ископаемого, крепости и устойчивости пород и руд, гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям месторождения.

Среди *способов разработки* месторождений выделяют геотехнологии (Ясковский, 2001): физико-техническая открытая, физико-техническая подземная, физико-химическая скважинная, комбинированная. В процессе эксплуатационных работ из-за неоднородности горно-геологической среды (извилистость границ рудного поля, прерывистости внутреннего строения, изменчивости свойств вмещающих пород) возникают эффекты разубоживания и потерь.

Разубоживание связано с примешиванием пустых пород к извлекаемой рудной массе. В результате засорения среднее содержание в добываемой рудной массе становится ниже, чем содержание в балансовых запасах. Отмеченный процесс характеризуется коэффициентом разубоживания: $Р = (С_н-С_д) / С_н \cdot 100$ %, где $С_н$ – содержание полезного компонента в балансовых рудах, $С_д$ – содержание в добытой рудной массе.

Потери возникают в процессе разработки месторождения потому, что извлечь полезное ископаемое удается не полностью. Часть запасов остается за контуром отработки. Величина потерь оценивается коэффициентом разубоживания: $П = (З_т-З_д) / 100$ %, где $З_т$ – запасы теряемые, $З_д$ – запасы добытые.

Каждый способ разработки имеет достоинства и недостатки. По данным П. П. Ясковского к ним относятся:

- открытая геотехнология – высокая производительность, но небольшие глубины отработки и существенный экономический ущерб;
- подземная геотехнология – отработка на больших глубинах, но значительные потери полезного ископаемого в недрах и тяжелые условия труда;
- скважинная геотехнология – возможность извлечения полезных компонентов в сложных горно-геологических условиях, но необходимы особые предпосылки для создания подвижных флюидов.

Достоинства и недостатки разных способов разработки тесно связаны с определенными горнотехническими условиями. К ним относятся:

а) *Глубина залегания* – один из важнейших горнотехнических показателей, определяющих способ добычи.

При малой глубине залегания применяется открытый способ добычи. Он позволяет развить большую производительность, обеспечить высокую эффективность, низкую себестоимость и более безопасные условия ведения горных работ. Экономическая эффективность добычи определяется коэффициентом вскрыши – отношением объемов (или масс) вскрыши и полезного ископаемого. Предельный коэффициент вскрыши и, соответственно, предельная глубина открытой разработки находится технико-экономическими расчетами. Максимально допустимый коэффициент вскрыши зависит от ценности полезного ископаемого и ориентировочно составляет: для строительных материалов 3 $м^3/м^3$, для углей 6 $м^3/м^3$, для черных металлов 10 $м^3/м^3$, для цветных металлов до 40 $м^3/м^3$. Глубина карьеров открытой добычи не превышает 500 м, но есть проекты глубиной до 700-800 м.

При глубоком залегании полезного ископаемого применяется подземный (шахтный) способ добычи. Он менее производительный и более дорогой по сравнению с открытым способом. Глубина работ колеблется от десятков метров до первых километров. К глубоким относятся шахты, отрабатывающие рудные тела на отметках от 600 (700) до 1000 (1200) м, к весьма глубоким – с глубиной от 1000 (1200) до 2500 м. С глубины 2500 м начинаются сверхглубокие шахты. Они достигнуты при эксплуатации золоторудных месторождений: Морроу-Велью (Бразилия, более 2500 м), Колар (Индия, более 3300 м), Витватерсранд (ЮАР, около 4000 м).

При проходке подземных горных выработок с глубиной увеличивается горное давление (в среднем 2,5 МПа на 100 м) и температура (в среднем 3 ^{0}С на 100 м). При подземной геотехнологии горное давление может проявляться в виде сдвижения, пучения. стреляния пород вплоть до горных ударов. С целью предотвращения горных ударов применяются специальные технологии выемки массива горных пород.

Условия залегания во многом определяют систему разработки месторождений (в первую очередь, подземной). По значению угла падения различают залегания горизонтальные и весьма пологие (0-5^0), пологие (5-25^0), наклонные (25-45^0), весьма крутые (60-90^0). Имеет значение и выдержанность угла падения в пределах блоков добычи

руды. Если угол падения устойчивый, то независимо от его значения ($0\text{-}90^0$) залежь считается выдержанной.

Высокая степень тектонической нарушенности усложняет ведение горных работ. Наибольшие неприятности доставляют малоамплитудные разрывные нарушения, которые не удается надежно выявлять в процессе разведки. Они приводят к повышению потерь и разубоживания руды при добыче, служат причиной неустойчивости и обрушения кровли, прорывов воды и т. д.

Более надежно при разведке выявляются крупные разрывные нарушения с амплитудой в десятки-сотни метров. Они служат естественными границами шахтных полей, участков, блоков добычи.

Мощность залежей является параметром, определяющим технологию добычи. В горном деле выделяются пять классов залежей: 1) тонкие 1,0-1,5 м; 2) средние от 1,0-1,5 до 3-4 м; 3) мощные от 3-4 до 8-10 м; 4) весьма мощные 10-50 м; 5) сверхмощные более 50 м. При изменении класса мощности возможно изменение системы разработки. Поэтому при разведке необходимо выделение геологически однородных блоков (ГОБов), которые заслуживают применения единой технологии добычи. ГОБы при этом приобретают статус технологически однородных блоков (ТОБов).

Кондиционным требованием, предъявляемым к залежам полезных ископаемых, является минимальная промышленная мощность. Она представляет собой минимальную мощность тела полезного ископаемого, при которой его разработка экономически выгодна. Выше этого значения мощность считается рабочей (или кондиционной), ниже – нерабочей (некондиционной). Так как мощность залежей меняется в пространстве, то внутри них могут появляться некондиционные участки или блоки, создавая прерывистость оруденения.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия играют существенную роль при проектировании и ведении горных работ (Поротов, 2004).

Физические свойства (скальные или слабосвязанные грунты), трещиноватость, расслоенность, наличие зон дробления, проявленная анизотропия свойств определяют устойчивость горных пород и руд при добыче сырья, а также размеры эксплуатационных блоков, значение углов откоса бортов карьера и т. д.

Обводненность месторождения определяется насыщенностью горных пород и руд подземными водами и зависит от совокупности факторов. К гидрогеологическим факторам относятся: количество водоносных горизонтов, условия их питания, фильтрационные свойства пород, оценка возможного водопритока в эксплуатационные выработки, состав и агрессивность подземных вод.

Инженерно-геологические факторы включают: проницаемость, набухаемость, размокаемость, коэффициент размягчения и др.

На месторождениях, где развиты карстовые процессы, существенную роль играют глубина и интенсивность развития карста. Выявляются зоны обводнения и поглощения воды, рассматривается возможность обрушения горных пород в зоны карста.

По результатам выполненных исследований должен быть сделан прогноз *экологических последствий* ведения горных работ, решен вопрос о необходимости и объеме природоохранных мероприятий.

Необходимо учитывать, что при ведении горных работ значительную площадь занимают отвалы или отходы горного предприятия. При необходимости следует предусматривать комплекс работ по укреплению отвалов, их рекультивации, очистке рудничных вод от вредных примесей и создании водохранилищ для их накопления. Должны быть оценены последствия осушения окружающей территории вследствие понижения уровня подземных вод.

ФОРМЫ РУДНЫХ ТЕЛ

Форма рудных тел является одним из ведущих факторов, определяющих методику проектируемых разведочных работ.

По своей сути, форма рудных тел определяется соотношением трех параметров: длины по простиранию, длины по падению и мощности.

Обозначим длину по простиранию Дпр, длину по падению Дпад, мощность М. Тогда формы рудных тел при всем своем многообразии могут быть сведены к трем основным группам (рис. 6).

1. *Изометричные*, Дпр ≈ Дпад ≈ М. В эту группу относятся штоки и гнезда.

Штоки – рудные тела средних и мелких размеров, по форме близкие к цилиндру: изометричные или эллипсовидные в плане и столбообразные в разрезе.

Гнезда – небольшие изометричные тела, характерные для камнесамоцветного сырья, редких и благородных металлов.

2. *Плоские*, Дпр ≈ Дпад >> М. К плоским, или плитообразным телам относятся, в первую очередь, пласты и жилы.

Пласты – это согласные плитообразные тела. Залегают согласно, то есть параллельно вмещающим породам. Пласт соответствует осадочному слою. Выделяются также *пластообразные залежи,* которые отличаются от пластов меньшими размерами, а также меньшей выдержанностью.

Жилы – секущие плитообразные тела. Их границы пересекают контакты вмещающих пород. Жилы, как и магматические дайки, –тела выполнения трещин. Жилы могут быть простыми, а также сложными, ветвящимися и т. п.

3. *Линейные*, Дпр >> Дпад ≈ М или Дпад >> Дпр ≈ М. Эта группа объединяет рудные тела, вытянутые в одном направлении. Если преобладающим размером является длина по простиранию, образуются *рудные ленты*, типичные для речных (аллювиальных) россыпей. Если наибольший размер отвечает длине по падению, то рудные тела имеют столбообразную или трубообразную форму. *Рудные столбы и трубы* приурочены обычно к пересечениям разломов или к вулканическим жерлам.

Широким распространением для обозначения формы рудных тел пользуются в геологии термины «штокверк» и «линза».

Штокверк представляет собой минерализованный объем горных пород. Обычно это массивы магматических пород или их части, насыщенные многочисленными разноориентированными прожилками и вкрапленностью рудных минералов. Такие рудные тела не имеют естественных природных границ и оконтуриваются по данным опробования. Обычно штокверки имеют форму, близкую к изометричной. Однако нередко

минерализованные зоны штокверкового типа, приуроченные к разрывным нарушениям (*линейный штокверк*; тогда их форма будет плоской или линейной.

Термин «*линза*» также не имеет однозначного морфологического содержания. Короткую и толстую линзу можно отождествить с гнездом. Плоские линзы соответствуют плоским рудным телам: согласным, если линза расположена параллельно контактам вмещающих пород, и секущим, если линза залегает косо. Наконец, линзы могут вытягиваться в одном направлении, образуя линейные рудные тела.

Кроме того, нередко встречаются рудные тела сложной, или комбинированной формы. Обычно они представляют собой сочетания или комбинации тел, принадлежащих к разным группам. Наиболее распространены крестообразные, грибообразные, седловидные и пр.

ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО СЛОЖНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАЗВЕДКИ

Установление принадлежности изучаемого месторождения к конкретному промышленному типу способствует выбору системы его разведки. Уже на стадии оценочных работ эта задача должна решаться. В то же время месторождения одного и того же промышленного типа нередко характеризуются разными размерами, формой рудных тел, разной сложностью внутреннего строения (минеральным составом, текстурно-структурными особенностями, типами и сортами руд, содержанием полезных и вредных компонентов). Для обоснования системы разведки, технических средств и методических приемов большое значение приобретает *группировка месторождений* по сложности геологического строения для целей разведки, учитывающая накопленный опыт их разведки и разработки (Комплексная …, 1990).

Впервые на необходимость группировки месторождений полезных ископаемых по сложности строения в зависимости от вычисленных значений коэффициентов вариации мощности и содержания полезных компонентов указано в работах В. М. Крейтера, Д. А. Зенкова, Н. В. Барышева, В. И. Красникова и др. В обобщенном виде группировка была предложена В. М. Крейтером в 1940 г. Все месторождения, исходя из учета формы и размеров рудных тел, разделены на пять групп (Крейтер, 1961): 1) пластовые и пластообразные тела, занимающие стратиграфический горизонт (или к нему приуроченные), и россыпи; 2) очень крупные залежи, неправильные тела и минерализованные массивы штокверкового и гнездового распределения, залегающие в разных крепких породах; 3) жило- и линзообразные тела в разных породах; 4) трубчатые и ветвящиеся залежи небольшого масштаба; 5) мелкие гнезда, штокверки, линзы, карманы и трубки в разных породах.

Разработанные В. М. Крейтером принципы группировки месторождений по факторам, определяющим методику их разведки, были положены в основу большинства последующих группировок и учитывались во всех поколениях инструкций ГКЗ СССР по применению классификации запасов. Они нашли отражение и в последнем опубликованном варианте группировок месторождений различных полезных ископаемых для целей разведки (Методические рекомендации…, 2007).

Многими авторами отмечалось, что принятые группировки базируются на качественных признаках, исходя из опыта разведки и разработки объектов. Например, геологическое строение простое, сложное, очень сложное; распределение полезных компонентов равномерное, неравномерное, крайне неравномерное. Поэтому установление группы сложности месторождения, основанное только на качественных критериях, во многих случаях оказывается спорным.

Группировку месторождений (или отдельных тел) полезных ископаемых по сложности геологического строения, основывающуюся на исследовании изменчивости их основных свойств, предложили В. И. Бирюков и М. Н. Денисов (1985). При этом рекомендуется использовать количественные показатели (табл.). Подобный подход отражен в последних вариантах группировки месторождений, предлагаемых ГКЗ в подготовленных Методических рекомендациях (2007). Так, при группировке месторождений железных руд рекомендуется использовать количественные характеристики основных свойств оруденения (табл.). Однако следует отметить, что значения таблиц характеризуют наибольшую степень разведанности месторождения или их частей перед началом эксплуатации. С уменьшением детальности изучения числовые значения признаков могут изменяться: q уменьшается с уменьшением числа наблюдений на прерывистых объектах; K_ρ и V меняются непредсказуемо: то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения. В этом проявляется слабость классификационных числовых признаков. Совершенствование подобных группировок должно основываться на учете особенностей отдельных видов минерального сырья; внедрении геофизических методов исследований, учитывающих контрастность физических свойств рудных тел и вмещающих пород (Шевелев, 2004). Помимо этого, разрабатываемые группировки месторождений должны способствовать рациональному проведению всего геологоразведочного процесса – от проектирования работ до их завершения. Первый тип группировок – морфологический, его следует использовать при проектировании и производстве ранних стадий разведочного процесса. Второй тип, содержащийся в Методических рекомендациях ГКЗ, позволяет относить объект к определенной группе и определять необходимое соотношение разных категорий подсчитываемых запасов с учетом критерия предпринимательского риска.

На практике используется группировка месторождений по сложности геологического строения, предусмотренная Классификацией запасов…(2007). Согласно этому документу необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется в зависимости от сложности геологического строения месторождений. По данному признаку месторождения подразделяются на следующие группы.

1-я группа. Месторождения (участки недр) простого геологического строения с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабо нарушенным залеганием. Характеризуются устойчивой мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *A, B,* C_1 и C_2. Примеры месторождений:

Джезказганское и Коунрадское меднорудные; Талнахское медно-никелевое; Никопольское и Чиатурское марганцевых руд; Лисаковское и Аятское железорудные и др.

2-я группа. Месторождения (участки недр) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, неустойчивыми мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко 2-ой группе также относятся месторождения углей, ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными горно-геологическими условиями разработки. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *B, C_1* и C_2. Примеры месторождений: Гайское, Сибайское, Учалинское меднорудные; Кальинское и Черемуховское бокситов; Гусевогорское и Качканарское титано-магнетитовых руд и др.

3-я группа. Месторождения (участки недр) очень сложного строения со средними и мелкими по размерам телами полезного ископаемого с интенсивно нарушенным залеганием, изменчивыми мощностью и внутренним строением, невыдержанным качеством и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются по категориям C_1 и C_2. Примеры месторождений: Красногвардейское, Октябрьское, Тарньерское медных руд; Мугайское, Аятское бокситов; Садовское, Рубцовское свинцово-цинковых руд; Удерейское сурьмяное; большинство золоторудных месторождений.

4-я группа. Месторождения (участки недр) с мелкими, средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием и резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого, прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются преимущественно по категории C_2. Примеры: месторождения пьезооптического кварца, оптического кальцита; камнесамоцветного сырья; Ховуаксинское кобальтовое; Актайское ртутное; Шахтаминское молибденовых руд, Чорух-Дайронское вольфрамовых руд и др.

Согласно утвержденной Классификации (2007) регламентированное соотношение запасов разных категорий на разведанных месторождениях полезных ископаемых в настоящее время не требуется: это соотношение определяет владелец лицензий самостоятельно с учетом планируемого предпринимательского риска.

По степени изученности месторождения подразделяются на разведанные и оцененные.

К разведанным относятся месторождения (участки недр), запасы которых, качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для технико-экономического обоснования их вовлечения в промышленное освоение в установленном порядке. Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивается возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;
- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, достаточной для проектирования

рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением полезных компонентов (имеющих промышленное значение) и определения направления использования отходов производства или оптимального варианта их складирования или захоронения;

- запасы других совместно залегающих полезных ископаемых (породы вскрыши, подземные воды, отнесенные на основании кондиций к балансовым), изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;
- гидрогеологические и инженерно-геологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранного законодательства и безопасности горных работ;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого, качестве и количестве запасов подтверждены на представительных для месторождения участках детализации;
- подсчетные параметры кондиций установлены на основании ТЭР, позволяющих определить масштаб и промышленную значимость месторождения с необходимой степенью достоверности;
- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду; даны рекомендации по снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий.

К оцененным относятся месторождения, запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены в степени, позволяющей обосновать целесообразность дальнейшей разведки и разработки. По степени изученности они должны удовлетворять следующим требованиям:
- обеспечивается возможность квалификации всех или большей части запасов по категории C_2;
- вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого оценены с полнотой, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное использование полезного ископаемого;
- гидрогеологические, инженерно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждена на участках детализации; подсчетные параметры кондиций установлены на основании укрупненных ТЭР или приняты по аналогии с месторождениями, находящимися в сходных горно-геологических условиях;
- оценено возможное влияние отработки месторождения на окружающую среду.

НЕОДНОРОДНОСТЬ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ НЕДР, ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗУЧЕНИЯ

Исследование неоднородности скоплений полезных ископаемых

При изучении минерализованных участков недр как объектов разведки используется *концепция относительной элементарности.* В соответствие с этой концепцией объект исследования рассматривается в качестве сложной системы, состоящей из множества условно неделимых элементов и объединенных между собой совокупностью условно неделимых связей (Каждан, 1979). Выяснение взаимосвязи и пространственных взаимоотношений элементов неоднородности системы обеспечивает понимание ее структуры.

В изучаемой системе каждый элемент представляет условно неделимую структурную единицу. Однако абсолютно неделимых структурных элементов в действительности нет. Концепция относительной элементарности приводит к представлению о строении материального мира, в том числе, геологических объектов, как об иерархии структурных уровней материи с наличием множества дискретных, условно неделимых структурных единиц в пределах каждого из них.

При детализации наблюдений выявляется неоднородность ранее выделенных условно неделимых структурных элементов и появляется возможность расчленения их на более мелкие единицы. Они характеризуют неоднородность изучаемого объекта уже на более детальном структурном уровне.

При решении геологоразведочных проблем задача сводится к изучению неоднородности природных скоплений полезных ископаемых, их структуры и анизотропии строения как основы для выяснения *изменчивости важнейших свойств полезного ископаемого в недрах.* Познание изменчивости геологических, технологических и горнотехнических свойств определяет обоснование методики разведочных работ, влияет на их последовательность, геолого-экономическую оценку месторождений, эффективность технологии разработки и переработки минерального сырья.

А. Б. Каждан (1974) предлагает при изучении рудоносных территорий выделять шесть последовательных структурных уровней строения минерализованных недр:
- минерализованной зоны (толщи);
- тела полезного ископаемого;
- морфологически обособленного участка тела полезного ископаемого;
- локального обособления участка тела полезного ископаемого (рудного гнезда);
- минерального агрегата;
- минерального зерна или кристалла полезного минерала.

На рис. 7 показана модель одного из флюоритовых месторождений, где отражены разные природно-структурные уровни проявленной минерализации (Каждан, 1977).

Позднее при рассмотрении вопроса о *системном подходе к изучению недр* А. Б. Каждан (1984) предложил задействовать в практике прогнозно-металлогенических исследований развернутую иерархию структурных уровней минерализованных участков недр, включающую большее количество структурно-однородных единиц (от региональных к локальным). Эта систематика призвана обеспечить возможность создания геологических моделей развития рудообразующих процессов при любых масштабах исследования территорий. Выделены следующие уровни строения:
- металлогеническая провинция;

- металлогеническая область;
- рудный район;
- рудный узел;
- рудное поле;
- месторождение полезного ископаемого;
- продуктивная (минерализованная) зона (толща) полезного ископаемого;
- продуктивная залежь (тело) полезного ископаемого;
- морфологически обособленный участок (блок) залежи полезного ископаемого;
- локальное скопление полезного ископаемого (объем селекции или добычи);
- минеральный агрегат, состоящий из зерен полезного минерала;
- зерно, кристалл или обломок полезного минерала.

Отмечено, что количество выделяемых в процессе разведки последовательных уровней может быть изменено в зависимости от целей и задач исследований и от совокупности изучаемых свойств полезного ископаемого.

При обосновании шага опробования, размеров отбираемых проб и расстояний между пунктами наблюдений определяющее значение приобретает исследование соотношений линейных элементов неоднородности (Каждан, 1977; Четвериков, 1984; Шевелев, 2004). Смысл этого утверждения заключается в том, что строение одного и того же природного скопления полезного ископаемого может быть оценено как *однородное* при достаточно больших размерах проб и как *неоднородное* при размерах проб, уменьшенных до определенного предела (рис. 8). При изучении штокверка «длинными» пробами строение штокверка представляется как однородное. Если же уменьшить длину пробы, то строение штокверка следует признать неоднородным.

Учитывая соотношение размеров элементов неоднородности и линейных размеров проб предлагается выделять *три типа неоднородности:*
- неоднородность высшего порядка – линейные размеры элементов неоднородности во много раз меньше линейных размеров проб, а общее их число в каждой пробе очень велико;
- эффективную неоднородность – линейные размеры элементов неоднородности примерно на порядок меньше линейных размеров проб, а их число в объеме пробы сравнительно невелико (последние десятки – первые сотни);
- неоднородность низкого порядка – линейные размеры элементов неоднородности превосходят размеры проб.

Изменчивость свойств полезных ископаемых

Неоднородность природных скоплений полезных ископаемых проявляется в *изменчивости их свойств.* Под изменчивостью понимается непостоянство значений признаков в разных точках пространства. На основе количественных характеристик изменчивости свойств полезных ископаемых решаются основные методические вопросы поисков, разведки, опробования и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых (Каждан, 1977, 1984). Если бы изменчивость себя не проявляла, то одно единственное наблюдение в любой точке (например, разведочное пересечение) давало бы полное и точное представление обо всем изученном объекте.

При дискретной сети наблюдений геологическая неоднородность низшего порядка проявляется как случайная, так и как неслучайная пространственная изменчивость изучаемого свойства, но чаще всего – как сумма обеих составляющих изменчивости.

Для *случайной изменчивости* характерна независимость друг от друга значений признака, наблюдаемого в разных точках залежи (в том числе и смежных). Они не зависят от расстояния между пунктами наблюдений и имеют по всем направлениям характер случайных беспорядочных колебаний (рис. 9 б). Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована методами вариационной статистики случайных величин.

Под неслучайной изменчивостью (закономерной) понимают характеристику закономерностей пространственного размещения изучаемого свойства в некотором объеме недр. Определяющим свойством неслучайной изменчивости является наличие плавных колебаний значений признаки и постоянство знака приращения на протяжении изучаемого отрезка недр. Поскольку закономерная изменчивость связана с пространственным положением пунктов наблюдения, то её называют *координированной* (рис. 9а).

В реальных условиях всегда наблюдается сочетание случайной и закономерной изменчивости в разных пропорциях. В зависимости от их сочетаний предложено выделять три градации изменчивости (Поротов, 2004): простая – преобладает закономерная изменчивость на фоне случайных колебаний; сложная – закономерная и случайная изменчивость присутствуют приблизительно в равных отношениях; весьма сложная – преобладает случайная изменчивость, а закономерная составляющая проявлена лишь в виде тенденции. Составляющая случайной изменчивости оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок. Однако в практике разведки в первую очередь геологов интересует пространственная изменчивость важнейших свойств, которая может быть выражена только ее неслучайной составляющей. Неслучайная изменчивость позволяет оценить характер *анизотропии свойств* полезного ископаемого и выдержанность его строения по разным направлениям в пространстве. Направление, по которому устанавливается максимальная или минимальная скорость изменения изучаемых свойств, носит название *оси анизотропии.*

Анизотропия проявляется в результате упорядоченности пространственного размещения геолого-структурных элементов – зерен, минералов, минеральных агрегатов, располагающихся по слоистости, сланцеватости, зон трещиноватости и т. д. Характеристика анизотропии служит основой для ориентировки сети наблюдений и выбора расстояний между смежными точками по каждому из наблюдаемых направлений.

Мерой анизотропии I служит отношение среднего числа n элементов неоднородности, пересекаемых линиями, проведенными в заданном направлении, к длинам этих линий l в пределах изучаемого объема полезного ископаемого: $I = n / l$ (Каждан, 1984). Наиболее широко распространены скопления полезных ископаемых, имеющих три взаимно ортогональных направления анизотропии: жилы, россыпи, многие пластовые и пластообразные тела и залежи. В них направление максимальной изменчивости свойств совпадает с направлением мощности, а направление минимальной изменчивости – с их

вытянутостью. Промежуточное по значению направление изменчивости совпадает с шириной залежей.

Реже встречаются трубообразные и изометричные линзообразные скопления полезных ископаемых, имеющих два направления анизотропии. В них выделяется круговое сечение, перпендикулярное к длинной или к короткой оси. В плоскости кругового сечения изучаемые свойства близки к изотропным. Второе направление анизотропии совпадает с направлением оси.

Примерами изотропных скоплений полезных ископаемых являются изометрические штокверки цветных и редких металлов.

Таким образом, анизотропия и неоднородность строения природных объектов тесно взаимосвязаны и представляют собой разные формы проявления структуры изучаемых геологических образований. В то же время анизотропия любого порядка может быть выявлена в том случае, если совокупность элементов, создающих анизотропию, укладывается в размеры пробы. Большое значение имеет также учет пространственного расположения пунктов наблюдений. Чем выше природная неоднородность строения и изменчивость полезных ископаемых, тем более локальной должна быть система наблюдений при их разведке и более значительными размеры или объем отбираемых проб.

Природная изменчивость свойств полезных ископаемых представляет явление сложного и многопланового характера. Задача полного количественного описания ее практически не выполнима. Поэтому следует отличать понятие *природной изменчивости* свойств полезных ископаемых от понятия их *наблюдаемой изменчивости* по результатам геологоразведочных работ (Каждан, 1984).

Завершая обзор подходов к изучению изменчивости, приведем высказывание (Шевелев, 2004): «Как бы детально и технически качественно не производилась разведка, создаваемая на ее основе эмпирическая модель разведуемых объектов недр, является приближенным отражением действительности. Если методика разведки выбрана несоответствующей особенностям разведуемого объекта, то никакими формальными приемами и способами последующего анализа и обработки (включая применение математики и ЭВМ) нельзя исправить или уменьшить возникающие ошибки».

Способы изучения изменчивости

Способы анализа выявленной изменчивости разнообразны. Их условно можно объединить в две группы – геологические и математические. В основе каждой группы лежит выбранный тип моделей, используемых для отображения изменчивости параметров объекта.

Геологические способы.

Для отражения геологических представлений изучаемых объектов и наблюдаемых признаков используют разные виды графических (геометрических) моделей (Каждан, 1974, 1984; Поротов, 2004). Эти модели являются плоскостными графическими материалами или объемно-макетными (скульптурного, рельефного, скелетного и др. типов). Примерами плоскостных моделей являются планы в изолиниях (мощности, содержаний, метропроцентов и др.), гипсометрические и погоризонтальные планы, разного вида графики по направлениям, проекции рудных скоплений на вертикальные или

горизонтальные плоскости и т. д. На графических материалах отображаются степень, характер и структура изменчивости параметров месторождения или их совокупность по определенным сочетаниям, площадям. Надежная геологическая обоснованность и наглядность моделей делают их незаменимыми при изучении и прогнозировании изменчивости геологических объектов. Они остаются ведущим способом обоснования системы разведки месторождений. Одной из разновидностей графических моделей являются блок-диаграммы, обеспечивающие наглядное пространственное представление о геологическом строении рудных полей, месторождений, участков (рис. 10).

Геологическое моделирование представляет сложную творческую задачу, допускающую порой несколько разных решений (Поротов, 2004). Причины этого – сложность геологических процессов, которые чаще всего остаются не познанными; дискретность сети наблюдений. Изученные объемы руд и горных пород малы по сравнению с объектами, на которые распространяются результаты наблюдений. Поэтому неизбежно возникают проблемы разработки более достоверных геологических моделей.

Графические модели обеспечивают лишь качественную оценку условий залегания, формы, строения природных скоплений полезных ископаемых и отражают упрощенное представление о характере и пространственной изменчивости свойств. Поэтому математическое обоснование геологических моделей, математический анализ изменчивости геолого-промышленных параметров выбранной модели становится необходимым. Приступить к математическому моделированию можно только создав удовлетворительную геологическую модель объекта. Геологическая модель должна отражать разделение объекта на блоки с разными типами изменчивости, тектонические смещения рудных тел, первичную и вторичную зональность и иные особенности. Игнорирование этих признаков объекта делает последующую математическую оценку изменчивости не корректной.

Математические способы

Математические методы, применяемые для изучения и прогноза изменчивости параметров геологических объектов, многочисленны и разнообразны. Задачей настоящего обзора является: дать общее представление об основных направлениях математического моделирования в рамках рассматриваемой проблемы; кратко охарактеризовать наиболее распространенные математические способы изучения изменчивости; указать области их применения и практическую значимость получаемых результатов (Поротов, 2004).

Вопросы математического моделирования широко освещены в многочисленных научных публикациях и учебной литературе. Эта информация отражена в учебниках и учебных пособиях (Каждан, 1974, 1984, 1990; Погребицкий и др., 1977; Поротов, 2004; Волков, 2006 др.). Более подробно проблемы изучения изменчивости параметров месторождений рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Геометризация и анализ геологических полей», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Считается, что геологические объекты относятся к «плохо организованным природным системам». Они не поддаются точному количественному описанию и, как правило, взаимосвязь между их параметрами не может быть выражена строгими законами.

Приходится создавать модель, дающую лишь приближенное представление о строении объекта и протекавших в объеме залежей рудообразующих процессах. Чем более точные представления будут получены исследователями об изучаемом объекте, тем объективнее будет подобрана соответствующая его особенностям цифровая модель, более надежные и представительные результаты получены при анализе материалов.

На базе геологических моделей созданы разные математические модели. Кратко охарактеризуем лишь некоторых из них:

- статистическая модель;
- геостатистическая модель;
- модели на основе случайной функции;
- разностные модели;
- геометро-статистическая модель.

Статистические модели. Их использование целесообразно, если в наблюдаемой изменчивости признака практически отсутствует закономерная составляющая и, следовательно, геометризация признака в изучаемом объеме недр практически невозможна.

Применение одномерной статистической модели основано на предположении о независимости значений изучаемого признака. В общем случае можно лишь считать, что чем выше степень изменчивости признака, тем полученные результаты ближе к статистической совокупности. Опыт показывает, что формулы математической статистики дают достаточно достоверные результаты при изучении изменчивости месторождений золота, платины, алмазов, редких и отчасти цветных металлов, мусковита и др., но оказываются ненадежными при оценке изменчивости залежей многих осадочных полезных ископаемых.

В практике разведочных работ одномерные статистические модели используются, главным образом, для численной оценки степени изменчивости геолого-промышленных параметров тел полезных ископаемых и месторождений, а также оценки точности полученных результатов. Важнейшими характеристиками таких моделей являются среднее значение изучаемого параметра $x_{ср}$, дисперсия s^2, среднеквадратичное отклонение s и коэффициент вариации V.

Поскольку у реальных геологических объектов обычно проявлено сочетание случайной и закономерной составляющих изменчивости, статистические модели, считающие все изменения случайными, показывают завышенную оценку. Во избежание этого необходимо выделять и исключать закономерную составляющую и рассчитывать коэффициент вариации только по данным выделенной случайной составляющей изменчивости.

При разведке месторождений выборки чаще всего характеризуются небольшими объемами. Поэтому оценку среднего значения оцениваемого параметра можно рассматривать как случайную величину, не соответствующую математическому ожиданию. Последнее и представляет собой истинное среднее значение этого параметра для генеральной совокупности – геологического объекта в целом. Поэтому одной из решаемых задач является выбор лучшего способа вычисления этой оценки и определение степени ее точности.

Статистические оценки могут быть точечными (выражены определенным числом) и интервальными (указывается интервал значений, в пределах которого находится истинное значение величины при заданной вероятности этого события) (Каждан, 1984).

При сравнении изменчивости параметров разной размерности наряду с абсолютной используют относительную величину (коэффициент вариации), обычно выражаемую в процентах:

$$V = (\frac{\sigma}{x_{\text{ср}}}) \cdot 100$$

Использование коэффициента вариации при оценке изменчивости имеет смысл в тех случаях, когда необходимо рассчитать средние значения геолого-промышленных параметров и погрешности их определения. Поэтому статистическая модель обычно применяется для изучения изменчивости содержания компонентов в рудах и мощностей тел полезных ископаемых, но она не эффективна при анализе условий залегания этих тел, их внутреннего строения и изменчивости качества нерудных полезных ископаемых (известняк, доломит, гипс и др.).

Геостатистическая модель. Предложена Ж. Матероном (Матерон, 1968) в шестидесятых годах прошлого столетия. Основана на предположении, что результаты наблюдений зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдений результаты измерений меняются. По этой причине их рассматривают как случайные величины. При этом средний квадрат разности измеренных значений зависит только от расстояния между пунктами наблюдений.

Основной инструмент геостатистики – вариограмма – используется для анализа и описания пространственной корреляционной структуры между произвольно размещенными реальными данными наблюдений. Вариограмма измеряет степень корреляционной связи между пробами в пространстве. Она обычно характеризуется 3-мя главными параметрами (рис. 11).

- *Эффект самородка* – это случайная составляющая дисперсии проб, которая показывает насколько велико различие содержаний в очень близко расположенных образцах. Величина эффекта самородка зависит от сети опробования месторождения и степени ее изменчивости. Название этого параметра введено при оценке месторождений золота, где часто встречаются непредсказуемые «ураганные» содержания металла.
- *Порог вариограммы* – это величина дисперсии проб. Когда вариограмма достигает порога, она часто выполаживается и больше не растет.
- *Зона влияния* – это максимальное расстояние, на котором между пробами еще существует корреляция. На меньших расстояниях (с определенной долей вероятности) можно предсказать содержание в точке массива по данным опробования, а на больших дистанциях – не имеем права. Вариограмма достигает порога на расстоянии, равном зоне влияния. На графике – это расстояние по оси абсцисс от начала координат до точки пересечения теоретической вариограммы с линий порога.

Вариограмма рассчитывается как сумма квадратов разности содержаний между пробами, отстоящими друг от друга на расстоянии h, отнесенная к удвоенному числу пар проб. Функция экспериментальной вариограммы имеет следующий вид:

$$\gamma(h) = \frac{\sum\left(C_i - C_{(i+h)}\right)^2}{2N},$$

где C_i – содержание элемента в точке i,

$C_{(i+h)}$ – содержание элемента в точке, отстоящей на расстояние h от «i» пробы.

Анализ вариограмм необходим для изучения пространственной неоднородности минерализации и расчета исходных параметров для оценки содержаний с помощью кригинга. Выполнение подобных исследований оправдано в тех случаях, когда предполагается наличие на месторождении жильных тел или рудных зон, прослеженных на значительные расстояния, а также если месторождение характеризуется рассеянной минерализацией с неопределенным типом анизотропии. В прикладном плане знание параметров пространственной изменчивости рудной минерализации дает возможность существенно сэкономить средства на разведочные работы, так как наличие вариограмм позволяет уверенно рассчитывать уровень содержаний между буровыми скважинами без дополнительного сгущения буровой сети, а также обосновывать оптимальную густоту разведочной сети. Выявленные закономерности распределения полезных компонентов в пространстве позволяют более надежно интерполировать значения содержаний, оценивать достоверность запасов.

Расстояние, на котором достигается порог (зона влияния), может меняться в зависимости от направления, вдоль которого оценивалась вариограмма. Например, в случае пластовой залежи изменчивость содержаний по простиранию пласта будет меньше, нежели вкрест простирания. Этот феномен называется геометрической (или дирекционной) анизотропией минерализации (Поротов, 2004). В случае если в разных направлениях вариограммы имеют разный порог, анизотропия называется зональной.

При моделировании вариограммы необходимо выбрать соответствующий тип модели. Существуют следующие основные типы вариограммы: линейная, общая линейная (линейные графики), сферическая, экспоненциальная, гауссова, с дырочным эффектом (криволинейные графики). Чаще всего используют сферическую или экспоненциальную модели (рис. 12).

Исследование пространственной изменчивости содержаний полезного компонента с помощью геостатистической модели проведено на одном из золоторудных месторождений Казахстана. Работа выполнена студентом-дипломником М. А. Дресвянниковым (2017). При обобщении материала за основу взята концепция, что традиционными рудоконтролирующими для золотого оруденения считаются структуры северо-восточного направления. Поэтому все первичные геохимические ореолы привязывались к ним, в том числе и ореолы золота.

Для анализа пространственного распределения золота с помощью программы LeapFrogGeo построены 3D модели, отражающие пространственное распределение содержаний золота. В результате на месторождении выделено 6 зон по преобладающему направлению простирания минерализованных зон (рис. 13).

По каждой выделенной зоне рассчитывались экспериментальные вариограммы. Для более наглядного представления построены поверхности вариограмм, представляющие собой розы-диаграммы, на которых в зависимости от направления и расстояния вынесены

значения функции вариограммы (γ). На рис.14-16 интенсивность закраски отражает изменение значений дисперсии, приведенные к шкале; стрелками показаны направления минимальной изменчивости золота. В первой зоне (рис. 13) северо-восточное направление минимальной изменчивости соответствует вытянутости рудоносной зоны. Зона 2, находящаяся в центральной части месторождения, уже имеет изотропное строение (рис. 15), которое может быть объяснено пересечением двух преобладающих на месторождении направлений распространения золоторудной минерализации (северо-западного и северо-восточного). В третьей зоне (рис. 16) направление изменчивости изменяется на противоположное, характерное для дисперсии первого участка. В целом, горизонтальные вариограммы подтверждают данные, полученные при моделировании рудной зоны. Зоны 1, 4 и 5 имеют минимальные значения дисперсии в северо-восточном направлении, зоны 3 и 6 – северо-западное, 2-ая зона – изотропна по значениям изменчивости.

Выявление в результате геостатистического моделирования «нового» структурного направления (северо-западного) (рис. 16) позволило запроектировать золотодобывающей компании в этой зоне продолжение геологоразведочных работ (в рамках доразведки северо-западного фланга месторождения).

Модели на основе случайных функций могут быть использованы для количественного описания изменчивости признака (пространственной переменной) в зависимости от местоположения пунктов наблюдений. В основе модели лежит гипотеза, что значение признака является случайной функцией координат.

$$\varphi(x) = m(x) + \delta(x).$$

Случайная функция состоит из двух частей: закономерной $m(x)$ и случайной $\delta(x)$ составляющих (рис. 17).

Закономерную часть называют математическим ожиданием случайной функции. Значения случайной функции, получаемые в результате эксперимента и заранее неизвестные, называются ее реализацией. Основными характеристиками случайной функции $j(x)$ являются ее математическое ожидание, дисперсия случайной составляющей, автоковариационная и автокорреляционная функции.

Математическое ожидание $m(x)$ представляет собой наиболее вероятное значение случайной функции в точках x. Дисперсия случайной составляющей D выражается формулой:

$$D = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\delta(x_i)$$

Автоковариационная функция $K(h)$ представляет собой среднее произведение соседних отклонений на расстоянии h:

$$K(h) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[\delta(x_i + h)\delta(x_i)]^2 ,$$

где n – количество наблюдений; m – количество пар соседних отклонений.

Автокорреляционная функция $r(h)$ представляет собой отношение автоковариационной функции к дисперсии:

$$r(h) = K(h)/D.$$

Сложность применения случайных функций состоит в том, что результаты геологических наблюдений представляют собой, как правило, лишь одну ее реализацию. Характеристики случайной функции можно найти либо тогда, когда она является стационарной и эргодичной, либо при введении дополнительных гипотез.

Стационарной называют случайную функцию, у которой характеристики не меняются при сдвиге сети наблюдений. Она имеет постоянные математическое ожидание и дисперсию, а корреляционная функция ее зависит лишь от расстояния h между соседними пунктами наблюдения, т. е. по существу является функцией одного аргумента. *Эргодичной* именуют стационарную случайную функцию, одна реализация которой на большом интервале эквивалентна большому числу реализаций на малом интервале.

Модель на основе стационарной случайной функции предполагает, что математическое ожидание – величина постоянная, т. е. закономерные изменения признака в пространстве отсутствуют. Тогда математическое ожидание (оценка математического ожидания) равно среднему значению признака: $m(x) = j_{ср}$, а случайные отклонения находят по формуле $d(x) = j(x) – j_{ср}$. Дисперсия, автоковариационная и автокорреляционная функции вычисляются по формулам, приведенным выше.

Из перечисленных характеристик наибольший интерес представляет *автокорреляционная функция* $r(h)$, которая показывает степень связи соседних значений признака в зависимости от шага наблюдений h. При $h = 0$ корреляционная функция $r = 1$; с увеличением шага наблюдений значение r убывает и стремится к нулю. Предельный шаг наблюдений, при котором коэффициент автокорреляции становится неотличимым от нуля, называется радиусом автокорреляции R. Он соответствует максимальному расстоянию, на котором еще обнаруживается взаимосвязь соседних наблюдений (рис. 18).

На практике автокорреляционная функция вычисляется по дискретным данным и изображается ломаной линией. За радиус автокорреляции обычно принимают тот шаг, при котором линия автокорреляции первый раз пересекает линию абсцисс.

Автокорреляционная функция зависит от направлений изучения изменчивости параметров и поэтому дает представление об анизотропии залежей. Чем больше радиус автокорреляции в заданном направлении, тем медленнее меняется значение параметра и меньше его изменчивость. Если значение радиуса автокорреляции одинаково по всем направлениям, то геологический объект является изотропным.

Радиус автокорреляции характеризует средний размер области влияния одного наблюдения, что используется при обосновании плотности разведочной сети. Для надежного установления поведения параметра между пунктами наблюдений необходимо, чтобы расстояние между ними не превышало двух радиусов, т. е. области влияния соседних наблюдений перекрывались.

Отметим, что характеристики стационарной случайной функции отражают достоверную картину лишь при отсутствии периодичности в изменении признаков. Они должны быть согласованы с периодами, сопоставимыми с размерами изучаемого объекта. В противном случае (ритмичность разреза, периодичность появления рудных столбов или разрывных нарушений и т. д.) требуется выявление периодов и амплитуд периодической

изменчивости и вычитание ее из реализации случайной функции, чтобы значения параметра привести к стационарному виду.

Различия между геостатистической моделью и моделями типа случайных функций заключается в том, что предметом изучения геостатистики служит исследование расхождений между оцениваемой величиной Q и ее оценкой q. Сама пространственная переменная рассматривается как детерминированная функция, а вероятностный подход проявляется только при оценке расхождения $\varepsilon = Q - q$.

При использовании моделей типа случайных функций предметом исследования являются природные скопления полезных ископаемых и их свойства в недрах, а в качестве случайных величин рассматриваются не дисперсии оценок, а значения всех наблюдаемых свойств. В строении полезных ископаемых выявляются элементы их неоднородности, а характеристики изменчивости изучаемых свойств оцениваются не в заведомо заданных объемах недр, а на том структурном уровне, который выявляется принятой сетью наблюдений.

Разностные модели изменчивости основаны на изучении приращений значений признака между соседними точками наблюдения и имеют целью исключение влияния закономерной составляющей изменчивости для более правильной характеристики случайной изменчивости.

Модель со вторыми разностями впервые предложена Д. А. Казаковским (Казаковский, 1948) и нашла широкое практическое применение. Метод Д. А. Казаковского разработан для правильных квадратных сетей и позволяет оценивать изменчивость геолого-промышленных параметров, которые могут быть изображены в виде топографических поверхностей, главным образом для изучения изменчивости мощности тел полезных ископаемых. Сначала вычисляют первые разности значений признака по соседним точкам:

$$\Delta'_t = \varphi_{i+1} - \varphi_i$$

а затем находят вторые разности как приращения соседних первых разностей:

$$\Delta'_t = \Delta'_{i+1} - \Delta' = \varphi_{i+1} + \varphi_{i+2} \ .$$

Абсолютной мерой изменчивости является показатель сложности топографической поверхности μ_a, который представляет собой среднее значение абсолютной величины вторых разностей:

$$\mu_a = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} |\Delta_t^m| \ ,$$

где k – количество вторых разностей.

Относительная изменчивость признака оценивается с помощью показателя изменчивости m, который представляет собой выраженное в долях единицы отношение показателя сложности поверхности m к среднему значению изучаемого параметра $j_{ср}$.

Геометро-статистическая модель. Основоположником горно-геометрического моделирования является П. К. Соболевский. В основе созданной им модели лежит представление о функциональных связях наблюдаемых свойств с пространственными координатами. Позже его идеи нашли отражение в геометро-статистической модели, разработанной В. Ф. Мягковым (Мягков и др., 1986).

Частные значения характеристик реального поля в точках пространства неоднородны по своему составу. Они представляют собой алгебраическую сумму двух величин, называемых регулярной и случайной составляющими (компонентами) поля $U_i = f(x_i) + \delta_i$ (одномерный вариант), где *Ui* – значение переменной в *i*-той точке пространства с координатами x_i; $f(x_i)$ – значение регулярной (или закономерной) составляющей; δ_i – значение случайной составляющей (рис. 19).

Регулярной (или закономерной) составляющей поля называется детерминированная компонента, фиксирующая направленность изменения изучаемого свойства в пространстве геологического объекта. Например, закономерность выклинивания линзообразного рудного тела от центра к периферии залежи.

Случайной компонентной поля называется составляющая, обусловливающая флуктуацию ее значений относительно детерминированной переменной. Ее наличие определяется влиянием как геологических, так и технологических факторов. Например, флуктуация мощности относительно генеральной тенденции к выклиниванию линзовидного тела от центра к периферии в случае экзогенного месторождения обусловлена не только неровностями дна бассейна седиментации, но и погрешностями принятого способа измерений.

Количественное описание наблюдаемой изменчивости поля заключается в разделении ее на две составляющие, определении амплитуды каждой из них и уровней изменчивости. Закономерная изменчивость определяется построением аппроксимирующей функции, получаемой аппроксимацией исходных значений параметра, а случайная изменчивость оценивается среднеквадратичным отклонением исходных наблюдений от графика аппроксимирующей функции.

Построение начальной аппроксимирующей поле функции на каждом одномерном сечении осуществляется по данным регуляризации измерений в соответствии с формулой, выведенной при условии четырехкратного последовательного сглаживания по двум точкам (Мягков, 1984):

$$U_j = 0{,}0625\,(U_i + 4U_{i+1} + 6U_{i+2} + 4\,U_{i+3} + U_{i+4}),$$

где U_j – значение регулярной составляющей поля, U_i – частные значения, полученные в результате измерений или опробования по совокупности пространственно сближенных точек. При этом координаты x_j определяются либо по аналогичной приведенной зависимости (вместо U_i в формулу подставляются значения x_i), либо по упрощенной формуле:

$x_j = x_i + (j + 1) + \Delta x$, если шаг наблюдений принят в качестве постоянной величины ($j = i+2...$).

С помощью геометро-статистической модели можно выразить основные особенности пространственной изменчивости свойств геологических объектов, установить примерные числовые значения изучаемого свойства в любой точке исследуемого объекта, получить представление о его морфологии и внутреннем строении. В то же время геометро-статистические модели не обеспечивают объективную количественную оценку изменчивости изучаемых свойств. Если статистические методы не учитывают влияния

плавных, закономерных изменений, то методы геометризации игнорируют влияние многочисленных случайных отклонений по отдельным пунктам наблюдений.

Контрольные вопросы к теме 2

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте факторы, определяющие промышленную значимость месторождений.
2. Как делятся месторождения по масштабу, качеству полезных ископаемых?
3. На что влияют глубина и условия залегания тел полезных ископаемых?
4. Зачем необходимо изучать инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений?
5. Как можно подразделить месторождения по форме залежей? Как влияет форма рудных тел на разведку и разработку месторождений?
6. Какие факторы положены в основу группировки месторождений для целей разведки?
7. Какие группы месторождений фигурируют в Методических указаниях ГКЗ? Как их учитывают при разведке?
8. Неоднородность строения минерализованных недр. Как она учитывается при разведке?
9. Изменчивость свойств полезных ископаемых, виды ее проявления.
10. Какие геологические способы изучения изменчивости известны?
11. Какие математические способы исследования изменчивости используют в последнее время при разведке месторождений?
12. Какие основные характеристики фигурируют при использовании геостатистической модели изменчивости?

Тема 3
Методологические основы разведки недр

ПРИНЦИПЫ РАЗВЕДКИ НЕДР

Земные недра обычно недоступны для непосредственных наблюдений. Они познаются преимущественно выборочным методом по сети пространственно разобщенных искусственных или естественных обнажений (Каждан, 1984). При этом полнота и достоверность полученных представлений о строении и составе недр зависит от густоты сети наблюдений, характера и степени неоднородности изучаемых объектов, прерывистости изучаемых свойств. Это побудило исследователей (Крейтер В. М., Каждан А. Б., Четвериков Л. И. и др.) сформулировать принципы, определяющие методологические подходы к изучению и оценке недр.

Принцип последовательных приближений предусматривает необходимость соблюдения правила: «от общего к частному». Геологические исследования начинаются с выявления крупных потенциально рудоносных площадей и отбраковки заведомо неперспективных территорий. После этого целесообразно перейти к более детальному изучению потенциально рудоносных площадей с последовательной ее разбраковкой на перспективные и неперспективные участки. В рамках реализации принципа весь геологоразведочный процесс подразделяется на три этапа и пять стадий (см. главу 5). Предложенная стадийность отражает рациональную последовательность проведения геологоразведочных работ, когда изучение недр проводится с возрастающей детальностью. Сначала выделяются общие геологические закономерности, а затем исследуются детали строения. По мере накопления разведочных данных возрастает полнота и надежность оценки объекта. Появляется возможность пространственного обособления внутри ранее выделенных условно однородных элементов геологического строения ещё более мелких структурных элементов. Вследствие ограниченности выборочных данных для суждения о свойствах и степени изученности объекта необходимо привлечение дополнительной информации, которую можно получить по принципу аналогии.

Принцип аналогии основан на положении о том, что геологические структуры и заключенные в них полезные ископаемые формировались в близких условиях. Они обладают чертами сходства условий залегания, строения и состава. Именно это обстоятельство обеспечивает подобие свойств объекта-эталона и изучаемого объекта. Степень подобия минерализованных участков недр зависит от пространственной близости и масштабов сравниваемых объектов: чем меньше их размеры и меньше расстояния между ними, тем больше проявляется сходство.

На стадии разведки можно выделить два подхода при принятии решений по аналогии: а) внутриобъектная; б) межобъектная. *Первый подход* – параметры разведочной сети принимаются близкими к изученным (и даже уже освоенным) участкам недр. Подобный подход возможен при разведке (доразведке) глубоких горизонтов месторождения, его флангов. *Второй подход* – использование данных по другим детально изученным объектам, используется при обосновании параметров разведочной сети на вновь вовлекаемых в разведку месторождениях. Этот принцип, основанный на типизации

месторождений, изложен в «Методических указаниях…», подготовленных ГКЗ при МПР РФ для отдельных типов полезных ископаемых.

Принцип максимальной эффективности является объединяющим ранее сформулированные В. М. Крейтером принципы наименьших трудовых и материальных затрат и полноты исследования (Петруха, 2003). Сущность принципа заключается в том, что в каждый момент выполнения геологоразведочных работ затраты на получение дополнительной информации не должны превышать экономических потерь, вызванных возможными просчетами в работе будущего предприятия. Полнота информации, необходимой и достаточной для строительства горнодобывающего предприятия, определяет подготовленность месторождения для промышленного освоения. Эта информация должна обеспечить достоверную характеристику разведуемого месторождения.

Достижение полноты необходимой информации осложнено крайне ограниченным объемом получаемых геологоразведочных данных по сети редких разведочных пересечений. В то же время собранная информация должна быть достаточной для принятия проектных решений по разработке месторождения и переработке добываемого минерального сырья. Здесь работает известный в математической статистике метод изучения свойств объектов на основе ограниченной по объему выборки. На каждой последовательно сменяющейся стадии изучения объекта выборка становится более представительной. В то же время из-за ограниченности геологических наблюдений, их неполноты любое проектное решение по освоению месторождения сопровождается риском, обусловленным возможными просчетами из-за неполноты собранных данных. Задача разведки – минимизировать эти риски до экономически рациональных размеров. Это возможно за счет выборочной детализации сети наблюдений на отдельных локальных участках.

Принцип выборочной детализации заключается в том, что проведение геологоразведочных работ в пределах всего объекта изучения должно сочетаться с более детальными работами на отдельных его участках (Каждан, 1984). При этом необходимо определиться с позицией эталонного участка, определить оптимальную детальность наблюдений в его пределах. Эталоны-аналоги детализационных работ должны быть представительными по отношению ко всему изучаемому объему недр. Чем типичнее окажутся эти участки, тем полнее будут критерии подобия и меньше погрешности распространения эталонных данных на весь оцениваемый объем. Рассмотрим примеры.

Согласно «Методическим рекомендациям по применению классификации запасов… (2007)» детализационные работы на стадии оценочных работ должны предусматривать обоснование в пределах локальных участков запасов категории C_1. С учетом полученных данных на этих участках следует предусмотреть опытно-промышленную разработку (ОПР) минерального сырья. В условиях действующих горных предприятий в качестве эталонов-аналогов следует использовать уже отработанные участки месторождения.

СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Изучение недр с целью выявления и промышленной оценки месторождений полезных ископаемых осуществляется последовательно по стадиям, по мере отбраковки неперспективных площадей и более детальном исследовании заслуживающих внимания объектов. Стадийность охватывает все виды геологоразведочных работ и отражает рациональный порядок последовательности их проведения (Положение…, 1999). Выделяется три этапа и пять стадий геологоразведочных работ (табл. 1). Составители «Положения…» отмечают, что границы между стадиями условны и определяются масштабами ведущихся работ. Информация, получаемая на каждой стадии, по полноте и достоверности должна быть достаточной для геологического и технико-экономического обоснования геологоразведочных работ последующей стадии, либо освоения и проектирования разработки месторождения. «Положение…» носит рекомендательный характер и устанавливает общие для всех видов полезных ископаемых требования к содержанию и результатам геологоразведочных работ для отдельных стадий.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых

Производится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей основу геологического изучения территории и оценки ее минерагенического потенциала. Призвано обеспечить выявление закономерностей формирования и размещения полезных ископаемых. Основным результатом регионального геологического изучения недр является моделирование и ранжирование по экономической значимости структурно-вещественных и минерагенических комплексов, локальный прогноз и начальная геолого-экономическая оценка потенциальных объектов минерального сырья. Основными видами работ являются площадные геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические съемки, наземные и аэрогеофизические работы, широкий комплекс специализированных исследований: космоструктурные, геолого-минерагенические, геохимическое картирование и другие виды изучения недр. Площадные картографические работы проводятся в масштабах: 1:15000000 и мельче – сводное и обзорное; 1:1000000 (1:500000) – мелкомасштабное; 1:200000 (1:100000) – среднемасштабное; 1:50000 (1:25000) – крупномасштабное. Для развития минерально-сырьевой базы главное значение имеют средне-крупномасштабные виды картографирования. По результатам выполненных работ выявляются и оконтуриваются прогнозные площади (минерагенические зоны, рудные районы, узлы и поля) с оценкой прогнозных ресурсов по категориям P_3, P_2, (P_1).

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Стадия 2. Поисковые работы

Объектами исследований являются рудные районы, узлы и поля или их части, выявленные в процессе предшествующей стадии регионального геологического изучения недр, по которым имеются оцененные прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_3. Работы могут производиться и на ранее опоискованных площадях, если это обусловлено изменением представлений о геологическом строении перспективных площадей, изменением

конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследования недр. Поиски могут проводиться в разных масштабах (обычно в пределах 1:50000-1:10000). Включают комплекс геолого-минерагенических, геофизических, геохимических и других видов и методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных объектов используется глубокое бурение в сочетании со скважинными геофизическими исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий проведения работ, накопленного в отрасли опыта. По совокупности полученной информации, ее комплексной интерпретации выделяются перспективные аномалии, участки. Проверка природы аномалий, вскрытие, опробование и изучение проявлений полезных ископаемых осуществляется поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. В отобранных пробах определяются основные и попутные компоненты, а в необходимых случаях – технологические свойства руд. На выявленных проявлениях полезных ископаемых оцениваются прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1. На основе полученных данных выполняется геолого-экономическая оценка выявленных объектов по укрупненным показателям. Положительно оцененные проявления включаются в фонд объектов, рекомендуемых к постановке оценочных работ с выдачей соответствующих лицензий.

Стадия 3. Оценочные работы

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади, изучения геолого-структурных условий локализации оруденения проводится геологическая съемка в масштабе 1:25000-1:10000 и крупнее (для сложных и небольших объектов). Геологическая съемка сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями, вскрытием и прослеживанием тел полезных ископаемых поверхностными горными выработками (канавы, шурфы, картировочные скважины). Все вскрытые выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты.

Технологические свойства полезного ископаемого определяются по лабораторным пробам, а в необходимых случаях – по малым и большим технологическим пробам. По этим результатам намечается принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого.

Во всех разведочных выработках осуществляется комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических исследований, достаточных для обоснования вскрытия и разработки месторождения. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду.

Материалы, полученные при производстве оценочных работ, должны обеспечить оценку промышленного значения месторождения с подсчетом большей части запасов по категории C_2. По менее детально изученной части месторождения количественно оцениваются прогнозные ресурсы категории P_1. Достоверность данных о геологическом строении, условиям залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов категории C_1.

В соответствии с рекомендациями, содержащимися в Методических рекомендациях по применению классификации запасов… (2007), на завершающем этапе оценки целесообразно выполнение на участках детализации отдельных месторождений специализированных работ – «Опытно промышленной разработки» (ОПР) в пределах локального объема минерализованных недр.

Геолого-экономическая оценка объектов осуществляется в процессе проведения работ и по их завершению. В начальный период оценочных работ проводится *оперативная геолого-экономическая оценка* прямым расчетом по укрупненным показателям. По результатам ее принимаются решения о целесообразности продолжения работ или их прекращении. После завершения стадии «Оценочные работы» разрабатываются *временные кондиции* и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная оценка промышленной ценности месторождения, определяющая целесообразность передачи объекта в разведку с последующим его освоением. *Месторождения,* получившие положительную экономическую оценку на оценочной стадии, *называются оцененными*.

Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование «временных» кондиций и ТЭД, представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизу. Заключение экспертизы является основанием для постановки запасов на государственный учет.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Стадия 4. Разведка месторождений

Объектом разведки является закрепленная лицензией в виде горного отвода часть недр, включающая полностью или частично месторождение полезного ископаемого. Разведочные работы осуществляются с целью получения информации для проектирования строительства горнодобывающего предприятия. В «Положении…(1999)» отмечается, что в *процессе освоения месторождения* с целью расширения и укрепления минерально-сырьевой базы действующего или реконструированного горного предприятия возможно проведение *доразведки месторождения.* Эти работы предусматривают в каждом отдельном случае решение конкретных геологических задач. Например, дополнительное изучение флангов или глубоких горизонтов месторождения, уточнение технологических свойств полезного ископаемого и т. д.

При разведке завершается изучение строения месторождения с поверхности с составлением геологической карты на инструментальной основе. В зависимости от размеров, сложности геологического строения, изменчивости тел полезных ископаемых съемка проводится в масштабе 1:10000-1:1000 с применением геохимических, геофизических методов, проходкой горных выработок (канавы, шурфы, траншеи), мелких скважин. Все выходы полезных ископаемых прослеживаются, опробуются с детальностью, позволяющей выявить форму, строение, условия залегания, интенсивность и глубину проявления зоны окисления.

Разведка на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. Расположение горных

выработок (в случае отработки объекта подземным способом) должно обеспечить максимально возможное их дальнейшее использование при эксплуатации.

Последовательность и объемы разведочных работ, соотношение горных и буровых выработок, форма и плотность разведочной сети, методы и способы отбора проб (рядовых, групповых, технологических) определяются, исходя из геологических особенностей разведуемого месторождения. Вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучаются с детальностью, достаточной для проектирования рациональной технологии их переработки.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, горно-геологические условия изучаются с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для составления проекта разработки месторождения. В процессе разведки дается оценка возможных источников питьевого и технического водоснабжения, проводятся работы по выявлению местных строительных материалов, разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения, обеспечиваются природоохранные мероприятия.

Разведка завершается разработкой технико-экономического обоснования (ТЭО) *постоянных разведочных кондиций*. Производится подсчет запасов основных и попутных компонентов по категориям в соответствии с группой месторождений по сложности строения, дается детальная экономическая оценка промышленной ценности месторождения. Пространственное размещение запасов, их соотношение по категориям устанавливается недропользователем. По завершению работ *месторождение называется разведанным.*

Материалы подсчета запасов, результаты ТЭО и обоснование постоянных разведочных кондиций подлежат государственной экспертизе (геологической, экономической, экологической).

Стадия 5. Эксплуатационная разведка

Эксплуатационная разведка проводится регулярно на эксплуатируемых месторождениях с целью получения достоверных данных для безопасного ведения работ, оперативного планирования добычи, обеспечения наиболее полного извлечения из недр полезных ископаемых. Объектами изучения и оценки являются эксплуатационные этажи, блоки, уступы. Основными задачами при этом являются: уточнение контуров, вещественного состава, внутреннего строения тел полезного ископаемого, количества запасов по технологическим типам и сорта руд (с их геометризацией), уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным горизонтам, блокам и т. д. Подсчитываются запасы подготовленных к отработке блоков, запасы готовые к выемке.

Для обеспечения рационального использования недр ведется учет потерь и разубоживания полезного ископаемого. Определяются показатели извлечения количества полезного ископаемого и изменения его качества.

В процессе разработки месторождения при резком отклонении в отдельных его частях геологических, горнотехнических и иных условий разработки, а также при изменении экологической конъюнктуры, недропользователь имеет право разработать ТЭО

эксплуатационных кондиций. Они разрабатываются на ограниченный временной период и должны быть привязаны к конкретным участкам эксплуатации.

На протяжении разведки и эксплуатации месторождения ведется учет движения запасов в результате их прироста, добычи, переработки или списания с баланса горнодобывающего предприятия. Информация по движению запасов, добыче, потерях и обеспеченности предприятия разведанными запасами передается в федеральные и территориальные фонды геологической информации.

ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для сравнения запасов месторождений одного и того же ископаемого, учета минеральных ресурсов разной изученности в пределах страны и регионов необходимо располагать стандартизующей системой. Такой системой является *классификация запасов.*

В нашей стране классификация месторождений полезных ископаемых утверждалась многократно (1933, 1941, 1953, 1984, 1997, 2007 гг.). Последняя классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых устанавливает единые для Российской Федерации принципы их обоснования (Классификация…, 2007). Запасы полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе из изучения и промышленного освоения. Качество полезных ископаемых изучается с учетом необходимости их комплексного использования, технологии переработки на основе определенных требований к качеству полезных ископаемых и технических условий. При этом определяются содержания основных и попутных ценных, токсичных и вредных компонентов, формы их нахождения и особенности распределения в продуктах обогащения и переработки. Объектом подсчета запасов полезных ископаемых является месторождение (или часть месторождения) твердых полезных ископаемых.

Подсчет и учет запасов по месторождению производится в единицах массы или объема в соответствии с экономически обоснованными параметрами кондиций без учета потерь и разубоживания при добыче и переработке полезных ископаемых.

По экономическому значению запасы твердых полезных ископаемых и содержащихся в них попутных компонентов подразделяются на две группы: балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические); они подлежат раздельному подсчету и учету.

К *балансовым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам (ТЭР) экономически эффективна в условиях конкурентного рынка при использовании техники, технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

К *забаланцевым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно ТЭР экономически не эффективна (убыточна) из-за низких технико-экономических показаний, но освоение которых становится экономически возможным при изменении цен на полезные ископаемые, появлении оптимальных рынков сбыта или новых технологий.

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в случае, если ТЭР установлена возможность их последующего извлечения или складирования для использования в будущем.

Оценка балансовой принадлежности запасов полезных ископаемых производится на основании технико-экономического обоснования (ТЭО), подтвержденного государственной экспертизой. В рамках этой оценки должны быть предусмотрены наиболее эффективные способы разработки месторождений, предложены параметры кондиций, обеспечивающие максимально полное и комплексное использование запасов с учетом требований законодательства РФ.

Запасы полезных ископаемых по *степени геологической изученности* подразделяются на категории *A, B,* C_1 и C_2. Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых категорий P_1, P_2 и P_3 в настоящем учебном пособии не рассматриваются. Критерии их выделения в пределах минерализованных участков недр разобраны в учебных пособиях (Баранников, 2011, 2013; Коробейников, 2009; Поротов, 2012 и др.).

Запасы категории A выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й группы сложности геологического и должны удовлетворять требованиям: установлены размеры, форма и условия залегания тел полезных ископаемых; изучен характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения; выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки; установлено наличие разрывных нарушений; выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлен их состав, свойства, охарактеризовано качество сортов; изучены распределение и формы нахождения ценных и вредных компонентов в минералах и продуктах переработки; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по горным выработкам и скважинам на основе результатов их детального опробования.

Запасы категории B выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й и 2-й групп сложности строения и должны удовлетворять следующим требованиям: установлены размеры, основные особенности и изменчивость внутреннего строения, условия залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений установлено их положение и амплитуды смещения; определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественное соотношение промышленных типов и сортов полезного ископаемого; определены минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок.

Запасы категории C_1 составляют основную часть запасов разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й, 2-й и 3-й групп сложности геологического строения. Также эти запасы могут выделяться на участках детализации месторождений 4-й группы. Они должны удовлетворять следующим требованиям: выяснены размеры и характерные

формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения; оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, наличие площадей развития мелко амплитудных нарушений; определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; установлены общие закономерности их пространственного распространения и количественные соотношения промышленных типов и сортов, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок с учетом данных геофизических и геохимических исследований.

Запасы категории C_2 выделяются при разведке месторождений всех групп сложности, а на месторождениях 4-й группы сложности геологического строения составляют основную часть запасов, вовлекаемых в разработку. Они должны удовлетворять следующим требованиям: размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим, геофизическим и геохимическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций на основании опробования ограниченного количества скважин, горных выработок, естественных обнажений с учетом данных геофизических и геохимических исследований, геологических построений.

Учитывая определенную «монотонность» в изложении вопроса категоризации запасов и, в известной степени, повторяемость предъявляемых требований к обоснованию отдельных категорий запасов, отразим этот материал в таблице 2, приведенной в учебном пособии (Шевелев, 2004). В ней наглядно *отражены особенности* требований к запасам разных категорий.

На разрабатываемых месторождениях *вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы* полезных ископаемых, а также находящиеся в охранных целиках горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, *подсчитываются отдельно* по категориям в соответствии со степенью их геологической изученностью.

При квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классифицированного показателя должны (или могут) использоваться количественные и вероятностные оценки *точности и достоверности* определения основных параметров. Однако конкретных количественных показателей для отдельных категорий запасов до сих пор не разработано. Свой подход в решении этого непростого вопроса рассмотрен А. Б. Кажданом (Каждан, 1977, 1984).

Нет сомнения в том (отмечает этот автор), что категория запасов определяется *густотой сети наблюдений.* В то же время *точность подсчета запасов зависит, прежде всего, от количества наблюдений в пределах разведанного участка* и в меньшей степени – от густоты сети наблюдений. При разной густоте сети, но при сопоставимом числе наблюдений в блоках различных размеров, *погрешности вычисления* среднеблочных оценок могут быть *примерно одинаковыми,* в то время как разведанность блоков будет резко различаться.

Понятия разведанность и точность подсчета запасов могли бы рассматриваться как взаимозависимые только при условии последовательной детализации разведочных данных в блоке установленного размера, когда с уменьшением расстояний между смежными точками наблюдений их количество в блоке закономерно возрастает. В практике разведки это условие обычно не выполняется. При детализации разведочных данных подсчетные блоки категории C_1 разделяются на более мелкие блоки категории *B*, а те в свою очередь на еще более мелкие блоки категории *A*. Поэтому связи между числом наблюдений и густотой разведочной сети не возникает.

Таким образом, при *оценке достоверности* результатов геологоразведочных работ необходимо различать степень разведанности запасов и точность их подсчета в заданных объемах недр (Каждан, 1977).

Степень разведанности запасов характеризуется детальностью выявления условий залегания, форм и строения полезного ископаемого, условий пространственного размещения в недрах. Количественно она может быть оценена *погрешностями геометризации* разведанных скоплений полезного ископаемого в недрах для заданной сети наблюдений.

Точность подсчета запасов может быть охарактеризована *погрешностями оценок их качества и количества* в оконтуренных объемах недр.

Из определения сформулированных понятий вытекает вывод, что при переводе запасов из более низких категорий в более высокие повышается не столько точность ранее подсчитанных запасов, сколько выявляются детали их пространственного размещения в пределах более мелких участков и блоков месторождения. Таким образом, точность подсчета запасов оценивается для категорий *A, B* и C_1 примерно одной и той же погрешностью. Но в зависимости от степени детальности наблюдений эта погрешность относится к разным по величине объемам недр.

На невозможность оценки степени изученности в виде цифровых показателей обращает внимание И. Д. Коган (Коган, 1974). Сказанное он мотивирует тем, что при подсчете запасов невозможно обеспечить заранее заданную величину погрешности для отдельных категорий, так как достоверность всех исходных данных остается практически неименной для разных категорий запасов. Категория запасов может быть понижена в силу иных причин. Например, при низком выходе керна, незавершенности технологических исследований, при ошибках геологической интерпретации.

Специального рассмотрения заслуживают классификации запасов твердых полезных ископаемых, применяемые в основных горнодобывающих странах (Австралии, США, Великобритании, Канаде и др.). Сопоставление отечественной квалификации с зарубежными, описание признаков их сходства и различия необходимо при обосновании инвестиционной привлекательности выставляемых на конкурс отечественных месторождений, а также решения ряда иных вопросов.

Обычно в зарубежных классификациях используются не более трех категорий ресурсов (resourses): измеренные (measured), исчисленные (indicated) и предполагаемые (inferred), а для оценки изученности запасов – даже двух: доказанные (proved) и вероятные (probable).

Несколько иной является классификация МАГАТЭ, используемая для отражения сырьевой обеспеченности атомной отрасли. Все учитываемые количества сырья квалифицируются как ресурсы (recourses). Для характеристики их изученности (достоверности) используются две категории: достоверно установленные (Reasonably Assured Resources – RAR) и дополнительные (Inferred Resources). Сумма оценок по этим категориям рассматривается как установленные ресурсы (Identified). Для оценок ресурсов, связанных с ещё не открытыми месторождениями (Indiscovered), используются категории прогнозные (Prognosticated) и умозрительные, рискованные (Speculative).

Разное целевое назначение российских и зарубежных классификаций затрудняет их однозначное сопоставление. Точного сопоставления между отдельными категориями не может быть в принципе. В то же время при задействовании классификации МАГАТЭ условно можно считать, что категория RAR примерно соответствует категории C_1, Inferred – C_2, Prognosticated – P_1, а Speculative – P_2+P_3.

В 90-х годах ООН был разработан специальный документ, получивший название «рамочный» (frame word) классификатор ООН. Подготовленная основа классификации представляет универсальную трехмерную матрицу, являющуюся ключом-дешифратором. Она позволяет осуществлять переход от одной классификационной системы к другой (рис. 3). В представленной классификации запасы и ресурсы оцениваются с трех позиций:

- геологическая изученность, определяемая стадией выполнения работ – детальная разведка (разведка), предварительная разведка (оценка), поиски, рекогносцировочные геологические наблюдения;
- экономико-технологическая изученность, определяемая стадией технико-экономической оценки (ТЭО постоянных и временных кондиций, оценка по аналогии и т. д.).
- экономичность освоения запасов, определяемая как достаточная или низкая рентабельность.

Каждая из ячеек матрицы имеет цифровую кодировку. В системе этих координат запасы, отвечающие той или иной степени изученности, выделяются как трехмерные тела. Например, запасы, выявленные на стадии разведки (A+B+C_1 по отечественной классификации) и имеющие положительную экономическую оценку на уровне ТЭО постоянных кондиций, получают кодировку 1.1.1.

С 90-х годов XX века в промышленных странах разработан еще один путь согласованного подхода к оценке запасов, определяемый сводами правил («кодексами отчетности»). Одним из таких кодексов, принятых в 2006 г, в ЮАР, Канаде и США, является CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards). Согласно стандарту CRIRSCO эксперты в заключениях должны руководствоваться определенной схемой классификации ресурсов (рис. 4). Стрелками на схеме показаны возможные переходы ресурсов в запасы при осуществлении экономической оценки объекта и обратно (например, при снижении цен), а также вероятные (probable) через измеренные, подсчитанные (measured) в доказанных (proven) при доразведке. Ресурсы предполагаемые (inferred) экономического значения не имеют.

Системы стандартов (CRIRSCO, YORK и др.) успешно задействованы за рубежом. Однако при попытках трансформировать оценки ресурсов в таксоны отечественной

классификации следует иметь в виду, что строго формальные соотношения здесь невозможны.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ

Обоснование оптимального комплекса технических средств – кардинальный вопрос разведки месторождений. На выбор технических средств разведки оказывают влияние геологические, горнотехнические и географо-экономические факторы. Их совокупным влиянием определяется пространственная ориентировка разведочных разрезов, расположение разведочных пересечений, техника проходки разведочных выработок (Каждан, 1977, 1985).

Геологические факторы отражают условия формирования, состав и строение полезных ископаемых, закономерности их локализации в геологических структурах, уровень эрозионного среза месторождений. Определяющее значение при этом имеют: характер связи полезных ископаемых с элементами геологического строения; условия залегания и морфология скоплений полезных ископаемых, их размеры; строение и состав залежей полезных ископаемых.

При анализе влияния *горнотехнических факторов* на выбор технических средств разведки должны быть учтены: предполагаемые способы вскрытия и разработки месторождения; гидрогеологические условия, горнотехнические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород.

Геолого-экономические факторы также могут оказывать влияние. В зависимости от уровня экономической освоенности, климата, ландшафтных особенностей рельефа, энергообеспеченности территории, наличия трудовых ресурсов, дорог и т. д. приходится решать вопросы рационального соотношения горноразведочных, буровых работ и геофизических исследований.

Технические средства геологоразведочных работ различаются по своим возможностям, информативности, стоимости (Шевелев, 2004, Петруха, 2003). Они включают: горные разведочные выработки, буровые скважины, геофизические исследования.

А. *Горные выработки* подразделяются на поверхностные и подземные. К поверхностным относятся канавы и траншеи (магистральные и прослеживающие), мелкие шурфы и дудки, расчистки; к подземным – глубокие шурфы, штольни и шахты с комплексом развиваемых из них горизонтальных выработок (квершлаги, штреки, орты, рассечки), а также наклонных и вертикальных (восстающие, гезенки).

Поверхностные горные выработки используются для вскрытия полезного ископаемого и вмещающих пород в коренном залегании, изучения зоны окисления рудных тел. Проведение этих выработок не требует больших затрат и поэтому широко используется на ранних стадиях изучения месторождений. Ведущее значение имеет проходка *канав.* Обычно их проходят на глубину 2-3 м, реже до 6 м уступами с высотой не более 2 м. При малом объеме работ и их рассредоточенности проходка канав осуществляется вручную. В стадию разведки канавы проходят с применением буровзрывных работ (рыхление, на выброс) и экскаваторами, бульдозерами, канавокопателями, скреперными установками. Те же геологические задачи (вскрытие рудных тел, их документация, опробование) решает

проходка *траншей.* От канав они отличаются большим поперечным сечением и глубиной проходки (до 5 м). Используются современные технические средства – бульдозеры, скреперы, роторные установки. При изучении месторождений, представленных жильными зонами (в том числе, камнесамоцветного сырья) и для отбора технологических проб, возможна проходка *разведочных карьеров* (Петруха, 2003). Форма карьеров в плане, их размеры и глубина определяются целевым заданием. Используются карьеры для разведки полезных ископаемых, выходящих на дневную поверхность или находящихся на небольшой глубине. Глубина карьеров может достигать 50 м, а объем – десятков кубических метров. При проходке применяют разные технические средства.

Для прослеживания и оконтуривания залежей по простиранию при мощности рыхлых отложений более 5 м, а также вскрытия предполагаемых под наносами новых тел полезных ископаемых, предусматривается проходка разведочных *шурфов.* Они подразделяются на мелкие (до 10 м) и глубокие (до 40 м). Площадь сечения шурфов 1,25; 1,5; 2,0; 4,0 м^2. Глубокие шурфы проходят для изучения условий залегания рудных тел, отбора проб монолитов. При необходимости из шурфов проходят рассечки сечением 1,8, 2,7 или 3,6 м^2. Многие годы шурфы служили основным техническим средством при разведке россыпей и других приповерхностных месторождений. Неглубокие шурфы круглого сечения называются *дудками.* Шурфы, проходимые в неустойчивых и рыхлых породах, крепят, а глубиной более 10 м вентилируют.

Механизированная проходка шурфов осуществляется с использованием специализированных технических средств, предназначенных только для бурения (КШК-30А, УБСР-25), или комбинированных, используемых для проходки шурфов и скважин (ЛБУ-50, КБУ-15, УКС-22М).

Подземные горные выработки по целевому назначению подразделяются на подходные (вскрывающие) и собственно разведочные (Шевелев, 2004). К подходным относятся шахты, подходные штольни и квершлаги; к основным – штреки, орты, рассечки и восстающие.

Стволы *разведочных шахт* используются как вскрывающие выработки при разведке месторождений. Сечение разведочных стволов колеблется от 6 до 12 м^2, а глубина – до нескольких сотен метров. *Разведочные штольни* служат горизонтальными вскрывающими выработками при разведке месторождений, залегающих в условиях пересеченного рельефа. Поперечное сечение штолен колеблется в пределах от 6 до 9 м^2. *Квершлаг* также является горизонтальной вскрывающей подземной выработкой и проходится из ствола шахты. Разведочным квершлаг является только в той части, где выработка пересекает залежь полезного ископаемого. *Разведочные штреки* представляют горизонтальные горные выработки, пройденные по простиранию залежей. Их целью является прослеживание по простиранию строения рудных тел, сплошности оруденения. Штрек может быть пройден по полезному ископаемому (*рудный штрек*) или по вмещающим породам (*полевой штрек*). Если тела полезных ископаемых обладают значительной мощностью, то от полевого или рудного штрека через определенные интервалы проходят *орты* (рассечки) или *скважины* с выходом во вмещающие породы для вскрытия продуктивных зон на полную мощность. Эти выработки выполняют роль разведочных пересечений. *Разведочные гезенки* проходят из

квершлагов вверх или вниз, пересекая пологопадающие тела полезного ископаемого по их мощности. *Разведочные восстающие* проходят из штреков по восстанию залежей полезного ископаемого. Проходят восстающие с целью прослеживания залежей полезного ископаемого между основными горизонтами горных работ. При этом появляется возможность изучения сплошности оруденения по восстанию, изменчивости мощности и качества минерального сырья по вертикали.

Площади поперечного сечения в проходке квершлагов и штреков колеблется в пределах 3,6-5,8 м^2, ортов – 2,7-3,6 м^2, восстающих и гезенков – до 4 м^2.

При проходке разведочных выработок используются разнообразные технические средства, осуществляющие буровзрывные, погрузочные, откаточные, подъемные и иные виды работ.

Применение горных работ в качестве технического средства рекомендуется осуществлять с учетом следующих требований (Петруха, 2003):

- при заложении дорогостоящих горных выработок необходимо учитывать геологические особенности объекта (условия залегания, размеры, форма залежей), полученные во многих случаях путем разведочного бурения;
- преобладающая часть горных выработок должна приходиться на вскрытое полезное ископаемое с целью его изучения и опробования;
- горные выработки следует проходить с учетом их дальнейшего использования при эксплуатации месторождения; например: использования разведочных шахт в ранге вентиляционных.

Горные выработки позволяют детально изучить изменчивость параметров оцениваемых объектов (по форме, качеству сырья, сплошности оруденения и т. д.), учет которых крайне необходим при разведке месторождений 3-й и 4-й групп по сложности геологического строения. Примеры размещения горных выработок при вскрытии и разведке тел полезных ископаемых отражены на рисунках, приведенных в учебных пособиях (Петруха, 2003; Шевелев, 2004).

Б. *Буровые разведочные скважины* – наиболее широко применяемые технические средства разведки. Для большинства полезных ископаемых они являются главным и даже единственным техническим средством. Следует учитывать, что скважины дают менее полные сведения об оцениваемом полезном ископаемом, но буровые работы нашли широкое применение благодаря мобильности, скорости проходки скважин, относительной легкости оборудования, меньшим расходом средств на метр проходки (Шевелев, 2004). При всех очевидных преимуществах буровые скважины имеют и недостатки: они вскрывают небольшие участки недр; дают менее точные сведения о составе и строении полезного ископаемого по сравнению с горными выработками; повторное контрольное опробование и отбор проб разного назначения ограничен из-за малого количества получаемого каменного материала; при бурении скважин наблюдается их искривление, что усложняет геометризацию разведанных объемов недр; при бурении по рудоносным интервалам возникают осложнения и отмечается недостаточный выход каменного материала с ненарушенной структурой. Но буровые скважины незаменимы при разведке глубоко

залегающих месторождений. Месторождения 1-ой и 2-ой групп по сложности геологического строения в основном разведуются только бурением.

При разведке месторождений твердых полезных ископаемых скважины бурятся с поверхности и из подземных горных выработок. Для поверхностного бурения используются неглубокие ударно-вращательные, вибрационные скважины и более глубокие ударно-канатные, пневмоударные и гидроударные. При оценке глубоких горизонтов задействуют бурение колонковых скважин и бескерновых скважин вращательного бурения. Из подземных горных выработок бурятся колонковые, шарошечные и перфораторные скважины.

Приповерхностные скважины глубиной до нескольких десятков метров используются для геологического изучения рудовмещающих структур, прослеживания, опробования и оконтуривания приповерхностных участков месторождений (Шевелев, 2004). Возможно использование разного типа буровых установок: УПБ-25 и УБР-2, БУУ-2, УКБ 12/25, БУ-20-2УШ и др.

Колонковое бурение глубиной от десятков метров до 150-200 м осуществляется агрегатами, смонтированными на автомашинах (УКБ-2, БСК, КГК-100 и др.). Более глубокие скважины бурятся агрегатами УКБ-3, УКБ-4, УКБ-5 и станками ЗИФ-650, СБА-500, СБА-800, ЗИФ-1200 и др. В последнее время в практике геологоразведочных работ нашли применение станки, разработанные зарубежными фирмами. Наиболее широко применяются буровые установки компаний Boart Longyear, Atlas Copco, Sandvik, SCHRAMM и их аналогов, произведенных, как правило, в КНР. Известные в нашей стране установки алмазного бурения серии Boart Longyear включают станки LM30, LM45, LM55, LM75. Размещенные на них манипуляторы позволяют ориентировать направление бурения скважины в любую заданную сторону.

Создание новой техники направленного бурения позволило проводить разведку по более рациональным схемам при проходке многоствольных скважин и за счет этого – многократного увеличения массы опробуемого рудного материала (без бурения дополнительных скважин). При этом дополнительные стволы могут располагаться как в одной вертикальной плоскости, искривления в одну сторону, так и задаваться в разных азимутальных направлениях (рис. 5).

Скважины подземного бурения могут являться частью разведочной системы или решать частные задачи, возникающие при геологическом изучении месторождения (прослеживание локальных рудоконтролирующих структур, апофиз, поисков смещенных частей рудных тел и т. д.). Бурение колонковых горизонтальных, наклонных и вертикальный скважин до 100 м осуществляется станками БСК-2М-100, а бескерновое – станками НКР-100. Неглубокие подземные скважины могут буриться с помощью колонковых или телескопных перфораторов без отбора керна глубиной 15-20 м.

В. *Геофизические исследования* играют большую роль в изучении земных недр, в том числе, на стадии разведки месторождений. Несмотря на то, что непосредственной геологической информации эти исследования не дают, геофизика как метод во многих случаях позволяет сократить количество необходимых разведочных пересечений, получить дополнительную ценную информацию. При обосновании и своевременном проведении

комплекса геофизических исследований появляется возможность пересмотра рекомендуемых методик и технических средств разведки. Последние могут меняться в зависимости от конкретной геологической обстановки и разрешающей способности геофизических средств разведки (Шевелев, 2003).

Как основные технические средства, геофизические методы могут применяться для исследования недр в промежутке между разведочными сечениями и при задействовании операций геофизического опробования.

Комплекс геофизических методов для решения основных задач разведки выбирается на основе учета совокупности факторов, определяющих возможную эффективность раздельного и совместного их применения. К таким факторам относятся (Комплексная …, 1990):

- степень дифференциации пород и руд по физическим свойствам, определяющая возможность использования данных каротажа для петрографической характеристики объектов;
- размеры, форма, элементы залегания, число рудных тел, текстурно-структурные особенности руд и их вещественный состав;
- присутствие в разрезе пород, близких по физическим свойствам к рудным образованиям;
- методика ведения горных и буровых работ, техническое состояние скважин.

При обосновании методики разведочных работ в рациональный комплекс необходимо включать минимальное и достаточное число геофизических методов, обеспечивающих получение достоверной информации с наименьшими затратами труда и времени. При задействовании нескольких методов следует предусмотреть последовательную их реализацию, скорректированную в зависимости от результатов каждого предыдущего метода.

Представления о возможностях геофизических методах формируются на основе *физико-геологической модели* (ФГМ) *объекта.* ФГМ включает геологическую модель, сведения о физических свойствах структурных элементов геологической модели, ожидаемые геофизические поля и аномалии на площади или по отдельным профилям (Сапожников, 2012).

В комплекс *наземных геофизических работ* при разведке месторождений входит широкий перечень методов: электроразведки, магниторазведки, радиометрии и др. Геофизические съемки в масштабе 1:2000-1:1000 позволяют более надежно оконтурить площади развития рудной минерализации, поля измененных околорудных пород, проследить выходы рудных тел, установить элементы их залегания, определить мощность рыхлых отложений и границу коры выветривания. Рассмотрим лишь ведущие из перечисленных методов.

Электроразведка включает группу методов, основанных на изучении естественных или искусственно возбужденных в земной коре электромагнитных полей. Электромагнитное поле зависит от свойств горных пород (удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, электрохимической активности). Это позволяет по изменению параметров поля изучать геологическое строение

площади и выявлять залежи полезных ископаемых. Используются следующие основные группы методов.

Электропрофилирование (ЭП) является одним из самых распространенных методов электроразведки и применяется для изучения крутопадающих слоистых толщ при некоторой постоянной глубинности изучения разреза по профилю (Сапожников, 2012). Геологическими предпосылками для применения метода является присутствие в рудах сульфидов, минералов железа и других, обусловливающих их низкое электросопротивление по сравнению с вмещающими породами. Распространенным является вариант ЭП, получивший название срединный градиент (СГ). В этом варианте токовые электроды разносятся на большое расстояние (1-3 км) и остаются неподвижными в процессе измерения удельного электрического сопротивления ρ_k при перемещении приемной установки *MH* постоянного тока и постоянного размера между электродами *AB*. В горизонтальной однородной среде градиент электрического поля (Δ *U/MN*) практически постоянен и на его фоне заметны проявления неоднородности разреза в виде локальных тел, крутопадающих пластов с аномальными электрическими свойствами (например, зон окварцевания).

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) – метод электроразведки, применяемый для изучения изменения удельного сопротивления по глубине для некоторой вертикальной трассы. Основан метод на постепенном увеличении размеров установки *AB* с общей центральной точкой (точкой зондирования), при котором увеличивается глубина проникновения тока и, соответственно, глубинность исследований. Метод ВЭЗ используется для изучения пространственного положения, морфологии и элементов залегания рудных тел в вертикальном разрезе. Широко задействуют его при геоморфологических исследованиях, для определения позиции и состава кор выветривания, мощности и строения рыхлого покрова, при гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях.

Метод вызванной поляризации (ВП) основан на изучении электрохимических процессов, возникающих на границе пород с ионной проводимостью (электронных проводников) и окружающей их жидкостью (электролитом) под воздействием пропускаемого тока. После выключения тока некоторое время в цепи возникает вторичная ЭДС – гальванический источник тока, создающий нестандартное поле вторичной поляризуемости. Метод ВП широко используется при разведке месторождений сульфидных, магнетитовых, редкометалльных и иных руд, при оценке ореолов с рассеянной рудной минерализацией.

Метод естественного поля (ЕП) основан на изучении естественных электрических полей, обусловленных разными электрохимическими процессами, самопроизвольно протекающими в земной коре. Метод эффективен при разведке рудных тел близповерхностного залегания, являющихся электронными проводниками. Используется при разведке сульфидных, магнетитовых, марганцевых и графитовых месторождений.

Метод переходных процессов (МПП) основан на изучении низкочастотного электромагнитного поля. В МПП изучается неустановившееся поле вихревых токов,

возникающих в породах и рудах при ступенеобразном изменении тока в контуре, который может быть расположен как на наземной поверхности, так и в воздухе (Горбунова, 1982).

Магниторазведка основана на изучении пространственных изменений геомагнитного поля, возникающих вследствие неодинаковой намагниченности горных пород и руд. Магнитное поле измеряют с помощью магнитометров, предназначенных для измерения полного вектора напряженности Т и его вертикальной составляющей. Обычно выполняют относительные измерения, находя приращения значений поля между двумя пунктами наблюдений. Интерпретация магнитных аномалий начинается с анализа карт изолиний магнитного поля, по которым судят о морфологии, размерах и природе возмущающих объектов (Сапожников, 2012). Количественную интерпретацию аномалий осуществляют, используя графики по профилям, проходящим крест простирания геологических объектов. Магнитные съемки с высокой детальностью и точностью 1-2 нТл включаются в разведочный комплекс для решения широкого круга вопросов. В том числе: расчленения пород по литологическому составу; выявления локальных структурных элементов (даек, жил, жерловых построек и т. д.); обоснования зональности размещения разных типов метасоматических пород; выявления магнитных руд черных металлов и слабомагнитных – цветных, благородных, редкометалльных; изучения рудных тел в морфоструктурах месторождения; изучения инженерно-геологических условий и т. д.

Гравитационная разведка основана на изучении пространственного распределения плотности в земной коре с помощью измерения силы тяжести σ (в г/см^3). При интерпретации полей силы тяжести используется характеристика избыточной плотности $\Delta\sigma$, представляющая разность плотностей отдельного геологического тела $\sigma_т$ и вмещающих пород $\sigma_{вм}$. Она может быть положительной или отрицательной. Единицей измерения силы тяжести является Галл (см/с^2). Но обычно пользуются более мелкой единицей – миллигалом (1 мГал =10^{-3} Гала). В разведочной геофизике относительные измерения гравитационного поля g выполняются с помощью гравиметров. Прибор позволяет измерять приращение g от точки к точке, т. е. Δg. На этой основе вычисляются аномальные поля Δg, по которым судят о неоднородностях по плотности в земной коре.

Гравиразведка применяется при структурно-геологическом изучении земной коры, разведке разных полезных ископаемых. Наиболее эффективно гравиметровой съемкой выявляются залежи железорудных и хромитовых месторождений, интенсивность аномалий силы тяжести над которыми может достигать 0,4-0,5 мГал. При увеличении детальности съемки возможно обнаружение рудных тел сульфидных месторождений размером 0,1-0,2 км^2, с интенсивностью аномалий 0,2-0,5 мГал (Шевелев, 2004).

Радиометрические методы основаны на изучении радиоактивности руд и горных пород с целью решения поисково-картировочных и разведочных задач, опробования. Наибольшее применение получила *гамма-съемка*, дающая положительные результаты для обнаружения радиоактивных руд и расчленения горных пород. Съемка проводится в аэро-, пешеходном, автомобильном вариантах. Радиоактивность выражается через мощность дозы излучения за единицу времени в А/кг (в системе СИ) или в микрорентгенах в час (1 мкР/час=10^{-12} А/кг). Изменения выполняют с использованием спектрометрической

аппаратуры, позволяющей выделять урановую и калиевую составляющую радиоактивного поля.

Повышенной радиоактивностью обладают породы, в которых в рассеянном состоянии находятся элементы урана, тория. Также повышенная радиоактивность свойственна породам, содержащим изотоп Калий-40. Он присутствует в кварц-серицитовых сланцах, нередко несущих золоторудную минерализацию, полевошпатовых породах, калийных солях.

Геофизические исследования скважин (ГИС) – это отрасль разведочной геофизики, отличающаяся от других методов только по методике исследований. Основные положения теории физических полей, измеряемых в скважинах, остаются теми же, что и в полевой геофизике (Сковородников, 2009, 2016). Роль и значение ГИС постоянно возрастает. В перспективе ГИС открывает путь к бескерновому изучению скважин. В настоящее время в скважинах регистрируется большое количество разных параметров (около 40). При этом стоимость ГИС составляет незначительную часть от общей стоимости сооружения и оборудования скважины.

В ГИС выделяют три больших раздела: каротаж, операции в скважинах и скважинную геофизику.

Каротаж – это геофизические методы изучения геологического строения разрезов скважин. В каротаже исследуются очень небольшие объемы горных пород, прилегающие к стенкам скважины. Отличительная особенность каротажа – высокая детальность и точность исследований. Результаты фиксируются в виде непрерывных диаграмм по стволу скважины или в виде числовых значений с шагом порядка 10-20 см. Каротаж позволяет выполнять литологическое расчленение разрезов скважин, выделять в них интервалы полезного ископаемого, определять физические свойства горных пород и полезных ископаемых in situ. Именно на основании данных каротажа производится интерпретация полевых геофизических методов: электроразведки – по данным об удельном электрическом сопротивлении (УЭС) пород; магниторазведки – по значениям магнитной восприимчивости пород: гравиразведки – по их плотности. Каротаж дает сведения, необходимые для подсчета запасов месторождения – данные о мощности залежей, содержанию полезного компонента и т. д. Изучение скважин подразделяется по природе изучаемых полей на методы электрического, радиоактивного каротажа и прочие методы (Сковородников, 2009, 2016).

Методы электрического каротажа включают:

а) Группу методов кажущегося сопротивления (КС). В эту группу входят: метод КС – наиболее распространенный; резистометрия – метод определения удельного сопротивления жидкости; метод БКЗ (боковых каротажных зондирований) – скважинный аналог метода ВЭЗ; БК – боковой каротаж и др.

б) Методы токового каротажа: метод скользящих контактов (МСК) – при исследовании рудных скважин; метод бокового токового каротажа (БТК) – для исследования углеразведочных скважин.

в) Группа электромагнитных методов: ИК – индукционный каротаж, использующий поля низких частот; ВМП – высокочастотный волновой метод проводимости и др.

г) Группа методов электрохимической активности: ПС – метод потенциалов самопроизвольной поляризации (аналог метода естественного поля); метод электродных потенциалов (МЭП). Методы ПС и ПК стали применяться совместно, получив название стандартного электрического каротажа.

Методы радиоактивного каротажа (РК) включают: ГК – гамма каротаж – регистрация естественного гамма-излучения горных пород; ГГК – гамма-гамма каротаж, имеющий две разновидности – плотностной (ПГГК) и селективный (СГГК); РРК – рентгенорадиометрический каротаж; НГК – нейтронный гамма-каротаж и другие методы.

Скважинная геофизика – это геофизические методы изучения геологического строения межскважинного, околоскважинного и призабойного пространства. В отличие от каротажа, скважинная геофизика отличается большими объемами исследуемых горных пород. Это позволяет увеличить действующую зону влияния скважин, пройденных по разряженной сети, обеспечить получение дополнительной геологической информации о межскважинном пространстве.

Методы скважинной и полевой геофизики подразделяются по природе исследуемых физических полей. Широкое использование в практике разведочных работ получили методы скважинной разведки. Выделены методы, основанные на использовании тока разной природы.

На постоянном токе: метод ЕП-С (естественного поля, скважинный вариант), МЗТ – метод заряженного тела, МЭК – метод электрической корреляции разрезов, ЧИМ – метод частичного извлечения металла.

На переменном токе: метод радиоволнового просвечивания, ДЭМПС – дипольного электромагнитного профилирования скважин, ННП-С – наземной незаземленной петли, скважинный вариант.

На импульсном токе: СП-С – метод вызванной поляризации, скважинный вариант; МПП-С – метод переходных процессов, скважинный вариант.

Задачи геофизических исследований в *горных выработках* во многом близки к тем, что уже были сформулированы выше. В том числе: корреляция рудных подсечений; оконтуривание и оценка размеров рудных тел; поиски пропущенных при разведке рудных тел в межвыработанном, межскважинном и околоскважинном пространстве; оценка положения выработок относительно рудных тел; внедрение в практику геофизического опробования.

Геофизическое опробование дополняет геологическое и во многих случаях его заменяет. Оно осуществляется в скважинах и шурфах, на стенках горных выработок. Также опробуется отбитая рудная масса в вагонетках и на транспортерах. Особенности геометрии среды измерений и условий их проведения отражаются в специфичности аппаратуры, в конструкции датчиков.

При измерении в горных выработках основными методами электроразведки являются (Рудничная…, 1986): метод ПС, электропрофилирование, метод электрической корреляции (МЭК), методы грави- и магниторазведки. С их помощью решаются горнотехнические задачи: определяется плотность горных пород и руд, выявляются подземные полости и зоны обрушения, форма карстовых полостей, коэффициенты

фильтрации подземных вод и другие вопросы геологического обеспечения добычных работ.

СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Метод локальных геологических наблюдений реализуется в разведке посредством *разведочной сети* (РС). Разведочная сеть – это методическое обоснование разведки месторождений полезных ископаемых. Она непосредственно влияет на получаемую разведочную информацию об оцениваемом объекте. От влияния собранной при разведке информации позднее невозможно избавиться никакой последующей обработкой данных (включая математическое и иное моделирование). Обоснование рациональной РС, отвечающей геологическим особенностям оцениваемого объекта, является кардинальным вопросом разведки месторождений.

Обоснование РС опирается на ряд понятий.

Любая разведочная выработка, пересекающая природное скопление полезного ископаемого, представляет искусственное обнажение и в случае выполнения определенных условий может рассматриваться как *единичное разведочное пересечение.* Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует *разведочное сечение*, а совокупность разведочных сечений в пространстве – *разведочную систему.* Таким образом, *под разведочной системой понимается совокупность разведочных сечений (разрезов), определенным образом ориентированных в пространстве по отношению к рудному телу, позволяющих решать стоящие перед разведкой задачи* (Каждан, 1977; Рудничная…, 1986; Шевелев, 2004). Прослеживание объектов разведки в заданном направлении осуществляется с помощью разведочных пересечений, в заданной плоскости – с помощью разведочных сечений (разрезов), в заданном объеме – с помощью разведочных систем.

Разведочное пересечение должно удовлетворять ряду требований. Главные из них (Шевелев, 2004):

а) должно быть ориентировано в направлении близком к направлению максимальной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах (чаще – по линии мощности);

б) вскрывать залежи полезных ископаемых на полную мощность с выходом во вмещающие породы.

Разведочное пересечение может быть выполнено с применением разных технических средств: скважин, шурфов, подземных горных выработок и др. Их выбор зависит от задач разведки, природных особенностей объекта, технико-экономических соображений. Чем сложнее строение полезного ископаемого, тем в большей степени должно быть вскрыто тело оцениваемой залежи. Оптимальным при этом является использование разведочных горных выработок.

Разведочное пересечение должно быть сплошным, что обеспечивает полную информацию по изучаемому направлению. Вычисленные по нему средние значения свойств наиболее близки к действительным. Они расходятся только на величину технических погрешностей экспериментальных наблюдений.

Разведочные сечения (разрезы) могут быть поперечными, продольными или косыми по отношению к телам полезных ископаемых, а также горизонтальными или вертикальными. Разведочные пересечения в пределах разрезов могут располагаться параллельно под разными углами или пересекая друг друга. Если сведения о строении и свойствах полезного ископаемого накапливаются по линиям на основе данных разведочных пересечений, то площади (объемы) между смежными разведочными разрезами остаются неосвещенными. Чтобы иметь сведения о свойствах полезного ископаемого в пределах этих площадей, необходимо располагать характеристикой изменчивости залежи и геологической информацией, которая может быть получена только по принципу аналогии.

Несколько иной смысл вкладывал в понятие разведочной системы основоположник учения о поисках и разведке МПИ В. М. Крейтер (1961). В основе предложенной им систематики предлагалось брать необходимый комплекс технических средств разведки. Под системой разведки он понимал «такое пространственное размещение разведочных средств, которое дает возможность построить намеченные разрезы и произвести необходимое опробование для подсчета промышленных запасов полезного ископаемого». Все разведочные системы В. М. Крейтер объединил в три группы, взяв за основу технические средства разведки: группы буровых, горных и горно-буровых систем. Позднее в развитие представлений о разведочных системах уже иными авторами были положены такие базовые понятия как характер изменчивости свойств полезных ископаемых, особенность анизотропии в строении залежей, возможности их изучения на основе комплекса технических средств. Так, А. Б. Каждан (1984) предложил классификацию разведочных систем, разделив их на три класса: системы вертикальных, горизонтальных и продольных разрезов, а также входящих в них ряда групп и видов (табл.).

РАЗВЕДОЧНАЯ СЕТЬ, ЕЁ ТИПЫ, ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

Типы разведочных сетей

Обоснованность запланированной в проекте разведочной системы раскрывает выбранная разведочная сеть. Под *разведочной сетью* (РЗС) следует понимать взаиморасположение в объекте разведки локальных наблюдений и измерений разведочных параметров (Шевелев, 2004). Практика показала, что при одной и той же разведочной системе могут быть реализованы разные РЗС и, наоборот, разными разведочными системами могут быть созданы одинаковые разведочные сети.

Разведочную сеть характеризуют ряд показателей.

Анизотропия РЗС – это различие в размещении наблюдений и замеров по разным направлениям пространства. Анизотропия проявляется в форме и ориентировке ее ячеек. Если форма ячеек изометричная (квадратная, треугольная), то сеть изотропна. Если ячейка сети обладает удлиненной формой (прямоугольной, ромбической) с одинаковой ориентировкой, то сеть анизотропна.

Геометрия сети может быть разной. Выделяют правильные, неправильные и линейные сети.

Правильные сети – расположение разведочных пересечений подчиняется строгому геометрическому порядку (квадратная, прямоугольная, ромбическая).

Неправильные сети – отсутствует общая геометрическая упорядоченность в расположении разведочных пересечений.

В *линейных сетях* – разведочные пересечения располагаются в плоскости разведочных сечений и образуют отдельные линии на плоскости проекции; они могут быть параллельными или пересекающимися.

РЗС формирует представление об объекте разведки, соответствие которого в действительности можно проверить только в процессе отработки месторождения. Поэтому следует стремиться к обоснованию и реализации на практике «оптимальной» разведочной сети. По мнению В. В. Шевелева (2004) для этого необходимо выполнение ряда условий.

Первое: при ограниченных ассигнованиях на разведку оптимальная РЗС должна быть обеспечена лимитированным количеством разведочных пересечений, позволяющим выполнить разведку с наибольшей точностью и детальностью.

Второе (дополняющее первое): требования по точности и детальности разведки (категоризации запасов) следует реализовать наименьшим количеством разведочных пересечений.

Третье: у разведочной сети должна быть «оптимальная геометрия», отвечающая структурно-морфологическим особенностям объекта.

На примере четырех ведущих морфологических типов полезных ископаемых ниже рассмотрены условия выбора разведочных сетей (Волков, 2006).

1. Горизонтальные пластовые, пластообразные и линзообразные залежи, имеющие в плане изометричную или близкую к ней форму. Элементы анизотропии свойств не выражены. К этой группе следует отнести месторождения осадочного генезиса и кор выветривания: часть месторождений железных руд, марганца, никеля, бокситов, углей, фосфоритов. Если залежь должна быть изучена с одинаковой точностью по всей площади, то для достижения этой цели наиболее эффективна *квадратная сеть* разведочных пересечений (рис. 20). Она дает возможность получить серии взаимно пересекающихся разрезов. Подобная сеть позволяет на отдельных участках более сложного строения дальнейшее развитие РЗС путем проходки детализационных профилей (рис. 21).

При разведке рассматриваемого типа залежей возможны и другие варианты сетей, отвечающих тем же условиям равномерности расположения точек наблюдений. К ним можно отнести *треугольную сеть,* позволяющую построить равноточные разрезы по трем направлениям. При одинаковом расстоянии между точками пересечения у треугольной сети есть преимущество – расстояние до центра ячейки оказывается меньшим (рис. 22). Но треугольная сеть в практике разведок почти не используется (возможности ее дальнейшего развития отсутствуют).

2. Горизонтальные пластовые и пластообразные залежи, обладающие заметно выраженной в плане протяженностью в одном направлении – более распространенный в природе класс залежей по сравнению с предыдущим, шире охватывающий те же типы осадочных и экзогенных месторождений. Наличие у тел длины и ширины определяет анизотропию их строения. Поперек вытянутости залежей изменчивость выше, вдоль тел – меньше. Условию получения равномерной изученности залежей в данном случае наиболее соответствует *прямоугольная сеть,* стороны которой ориентированы по направлению

длины и ширины тела. Короткая сторона ячейки располагается по ширине, а длинная – вдоль вытянутости объекта (рис. 23). Прямоугольная сеть обладает возможностями ее развития – сгущение на отдельных участках, проходка детализационных профилей.

Примером рассматриваемой группы залежей служат сильно вытянутые извилистые в плане тела лентообразной формы с резко выраженной анизотропией свойств (рис. 24). Геометрически правильная прямоугольная сеть при этом нарушается, и она становится близкой к сети следующего типа.

3. Наклонные залежи с отчетливо выраженными элементами залегания являются наиболее распространенным типом объектов разведки. Их морфология соответствует пластам, пластообразным залежам. Залежи такого типа обладают анизотропией морфологии, условий залегания и внутреннего строения. Разведочная сеть подчинена этим признакам. Применяется система параллельных вертикальных сечений (при выдержанном простирании) или непараллельных (при изменчивом простирании), располагающихся на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 25). Способы развития сети точек наблюдений близки к описанным выше. Например, детализация имеющихся профилей, проходка промежуточных линий и выработок.

4. Для крутопадающих залежей, имеющих облик штоков, характерны сложные виды анизотропии (состава, свойств). В этом случае используется комбинированный способ разведки с применением горных выработок и буровых скважин. В одном из вариантов разведки крутопадающее рудное тело рассекается горными выработками по нескольким горизонтальным сечениям. В каждом сечении проходятся поперечные горные выработки и горизонтальные скважины с целью оконтуривания и изучения залежи (рис. 26).

В учебном пособии (Рудничная…, 1986) приведена более лаконичная систематика разведочных сетей. Выделены две системы разведки – по сетке и параллельным сечениям.

В системе разведки по сетке задействованы правильные разведочные сети – квадратная, прямоугольная, ромбическая. Эти РС применяются для крупных по размерам, простых по морфологии и внутреннему строению рудных тел, залегающих горизонтально или слабо наклонно – пластов, пластообразных тел, штокверков, плащеобразных залежей (рис. 27).

В системе разведки по параллельным сечениям следует выделять: а) горизонтальные сечения для крутопадающих тел сложной формы и строения (трубообразных, линейных оруденелых зон); б) вертикальные сечения для любых по форме тел с переменными углами падения, сложным внутренним строением и глубокозалегающим. Иногда системы горизонтальных и вертикальных сечений могут применяться на одной и той же залежи. Здесь верхняя часть разведуется горизонтальными сечениями (горными выработками в комбинации с подземными скважинами), а глубокие горизонты – скважинами с поверхности и подземным бурением, создающими вертикальные сечения.

Принципиальная схема разведки рудных тел линзообразной формы с использованием горноразведочных работ и буровых скважин отражена на рисунке 28.

Плотность разведочной сети, её обоснование

Обсуждение вопроса о плотности разведочной сети имеет высокую актуальность. С одной стороны, этот вопрос касается детальности изучения объекта, а с другой – связан с

затратами средств и времени. Выбор плотности сети ориентируется на изучение *наиболее изменчивых параметров залежей.* В одних случаях для надежной оценки объема и условий залегания полезных ископаемых используются характеристики изменчивости формы залежей; в других – для оценки качества минерального сырья результаты исследования изменчивости линейных запасов или содержаний.

Разведочная сеть создается в плоскости залежей. Плотность (густота) разведочной сети определяется площадью, приходящей на одно разведочное пересечение. Плотность разведочной сети (R) есть безразмерный показатель – отношение объёма залежи (Q) к объему разведочной ячейки (q), т. е. $R=Q/q$. Однако в практике разведки практически всегда используют параметры, характеризующие расстояние между разведочными пересечениями, как в плоскости разведочных сечений, так и между ними.

Плотность разведочной сети зависит от размеров скоплений полезных ископаемых, сложности их геологического строения, целей разведочных работ, размеров оцениваемых (подсчетных) блоков. Чем гуще РЗС, чем меньше размер ее ячейки, тем большей разрешающей способностью она обладает и тем более глубокий уровень в строении оцениваемых объектов она вскрывает. По мере сгущения РЗС у наблюдаемой изменчивости разведочных параметров меняется соотношение между ее случайной и закономерной составляющими в сторону увеличения последней. Суммарная изменчивость остается постоянной, что выражается в постоянстве величины ее дисперсии при разной густоте РЗС (Шевелев, 2004).

Мерой, определяющей степень сгущения разведочной сети, служит выявляемая доля координированной изменчивости свойств залежей полезных ископаемых. Только при ее наличии правомерна геометризация параметров залежей. Составляющая неслучайной (координированной) изменчивости может быть выявлена и оценена горно-геометрическими и математическими методами.

В практике геологоразведочных работ при оптимизации РЗС задействуют следующие методы (способы):

- аналогии;
- разрежения (сгущения) разведочной сети;
- сравнения данных разведки с данными эксплуатации;
- геометро-статистический;
- совокупность математических методов

и ряд других способов.

Способ аналогии применяется в соответствии с принципом аналогии. Первоначально разведочная сеть принимается по аналогии с другими близкими по геологическому строению объектами. Месторождения должны относиться к одному геолого-промышленному типу. В данном случае задействуется *межобъектная аналогия.* Наибольшее значение способ приобретает на стадии оценочных работ в связи с недостатком сведений о геологическом строении оцениваемого объекта.

Способ базируется на отнесении разведуемого объекта к определенной группе сложности строения и выборе плотности РЗС на основе обобщения данных разведки многочисленных месторождений, приведенных в «Методических указаниях по

применению классификации запасов…», МПР РФ, 2007. Накопленный опыт указывает на определенную условность отнесения объектов к той или иной группе. Индивидуальность объектов является основной причиной ошибок при использовании метода. Чем необычней по строению, составу оцениваемые недра, тем ниже оказывается возможность использования способа аналогии.

В пределах месторождения возможно применение *внутриобъектной аналогии* – использование апробированных разведочных сетей на участках выборочной детализации или в пределах отработанных частей залежей. Способ аналогии является наиболее используемым. Однако в рекомендациях ГКЗ подчеркивается, что он является приближенным и обязательно требует заверки соответствующими экспериментами и расчетами.

Способ разрежения относится к категории экспериментальных. Основан на предположении, что достигнутая на объекте густота сети наблюдений заведомо обеспечивает требуемую точность результатов, что чаще не является бесспорным. Способ сводится к последовательному разрежению исходной разведочной сети в 2, 3, 4 и т. д. раз. По разреженной РС определяются средние параметры разведочного участка, сосредоточенные в них запасы, строятся геологические разрезы. Затем производится их сравнение с «истинными» характеристиками, полученными на основе всех разведочных данных по исходной сети. Обнаруживающиеся различия рассматриваются как погрешности, к которым приводит конкретное разрежение сети. Задавая допустимый уровень погрешности, можно установить минимальную густоту сети, при которой во всех вариантах пространственного расположения точек наблюдений погрешности оценки параметра не превысят допустимого значения. Изменение наблюдаемого облика залежи полезного ископаемого при последовательном разрежении сети точек наблюдений отражено на рисунке 29. В тоже время следует отметить, что способ разрежения, как метод сравнения, следует применять в качестве общетеоретического исследования, а не оперативного средства для оценки сети разведуемого объекта (Шевелев, 2004).

Способ сгущения разведочной сети – экспериментальный способ, имеющий конкретную прикладную направленность. Он применяется в тех случаях, когда имеющаяся сеть точек наблюдений признана недостаточно густой или необходим контроль правильности представлений о геологической модели объекта. При последовательном сгущении сети следует постоянно анализировать изменение представлений о морфологии рудных тел, условиях их залегания и иных геологоразведочных параметров. Одним из показателей достаточности РЗС является однозначная увязка геологических элементов и рудных тел на планах и разрезах.

Следует учитывать, что при каждом сгущении сети имеется только один вариант пространственного положения начального пункта сети. Для этого варианта определяется среднее значение исследуемого параметра и вероятная погрешность его оценки. Достаточной признается такая густота сети, которая обеспечивает погрешности ниже допустимой, а увязка данных по соседним разведочным выработкам становится однозначной.

Способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации заключается в сравнении разведочной модели недр с наиболее достоверной, основанной на наиболее детальном изучении недр в процессе эксплуатационных работ. Различие, которое при этом фиксируется, рассматривается как показатель, оценивающий правильность и точность разведки (Комплексная ГЭО…, 1990; Сборник нормативно-методических документов…, 1998, Шевелев, 2004). Данные разведки и отработки сопоставляются в контурах запасов, ранее прошедших экспертизу в ГКЗ РФ, с учетом отработки запасов за пределами этих контуров

Сравнению подлежат запасы полезного ископаемого и их компонентов, все подсчетные параметры (мощность тел полезных ископаемых, содержание полезных и вредных компонентов, объемная масса, площадь тела полезного ископаемого, коэффициент рудоносности и т. д.).

При сопоставлении должны анализироваться не только параметры и общие цифры запасов, но и выявленные изменения в представлениях об особенностях геологического строения месторождения; анализируется их влияние на количество и качество запасов полезного ископаемого. Должны вскрываться причины расхождений сопоставляемых данных разведки и отработки. Должна быть доказана достоверность данных эксплуатационной разведки, эксплуатационного опробования очистных выработок, геолого-маркшейдерского и фабричного учета, достоверность учета потерь и разубоживания (рис. 2, 30, 31).

Необходимо отметить, что результаты эксплуатации месторождения нельзя рассматривать как безошибочные. При разработке месторождения не всегда полностью учитываются потери и разубоживание минерального сырья, а это искажает представление о морфологии и качестве тел полезных ископаемых. Подготовительные и очистные работы часто не проводятся в тектонически сложных зонах, на участках размыва залежей, их расщепления или выклинивания, что снижает достоверность собранных сведений. Поэтому на практике применение способа чаще ведется путем сравнения не с данными добычи, а с результатами эксплуатационного опробования.

В результате сопоставления данных разведки и разработки даются рекомендации, направленные на повышение достоверности исходных разведочных данных, методики разведки, оконтуривания и подсчета запасов.

Геометро-статистический способ имеет достаточно надежный и относительно простой математический аппарат, широкий диапазон применения. Возможности использования метода для решения комплекса горно-геологических задач рассмотрены ранее (см. раздел 11.3). Здесь приведена методика решения лишь одной задачи – определения рациональной плотности разведочной сети.

Для решения прикладных геологоразведочных задач обычно используют данные эксплуатационной разведки. Подбор данных проводится на профилях, ориентированных по простиранию и падению рудных тел. Размеры между точками наблюдений соответствуют расстояниям между точками отбора проб в горных выработках или скважинах. Длина профилей соответствует параметрам рудных тел по исследуемым направлениям. Обработка материалов заключается в построении одномерных графиков изменчивости геологических

параметров в системе координат: содержание полезного компонента (мощность залежи) – расстояние. Затем проводится выравнивание (сглаживание) исходных данных, оценка уровненного строения, частотных и амплитудных характеристик изучаемых полей (геохимических, морфометрических).

Для обоснования плотности и геометрии разведочной сети применяется *способ геометрической автокорреляции,* соответствующий геометро-статистической модели (Рудничная…, 1986; Петруха, 2003). Способ позволяет вычислять значение радиуса геометрической автокорреляции (R_q, м) после выравнивания исходных данных по формуле: $R_q=L(1+2K_q)^{-1}$, *где* L – длина участка аппроксимации (исследуемого профиля), м; K_q – количество экстремальных значений аппроксимирующей поле функции на профиле; q – структурный уровень. Оптимальный шаг разведки принимается равным среднему значению радиуса геометрической автокорреляции, вычисленному по сечениям рудного тела (по простиранию и падению).

Геометро-статистическая модель используется для установления связи между уровнями частотной изменчивости параметра (R_q) и категориями разведанных запасов. Применение модели оправдано при преобладании закономерной составляющей изменчивости признака над случайной составляющей или при их равных соотношениях.

Обоснование оптимальной плотности разведочной сети для медноколчеданных месторождений Урала, выполненное Л. М. Петрухой (1991), позволило установить, что распределение меди, цинка, серы в рудных телах месторождений в основном изометричное. Оценка анизотропии (A) изменчивости геологоразведочных параметров, определенной как соотношение значений (R_q) по простиранию и падению рудных тел ($A=R_{q1} / R_{q2}$), показала, что среднее значение A=1,1, т. е. близко к единице. В связи с этим разведочная сеть на медноколчеданных месторождениях должна быть квадратной, а не прямоугольной (как это отражено в Методических рекомендациях ГКЗ).

Обоснование плотности разведочной сети с использованием аппарата стационарной случайной функции и геостатистической модели рассмотрены ранее (см. раздел 11.3).

Контрольные вопросы к теме 3

1. Принципы разведки. Для чего они разработаны?
2. В чем заключается принцип последовательных приближений?
3. Как реализуется принцип аналогии?
4. В чем заключается принцип максимальной эффективности?
5. На какие этапы и стадии подразделяется процесс геологического изучения недр?
6. На какой стадии геологоразведочных работ рудопроявление переходит в разряд месторождений?
7. Что такое – месторождение оценённое, месторождение разведанное?
8. Какой документ подготавливается по результатам разведки месторождения? Каково его содержание?
9. Какие виды горных выработок применяются при разведке? Охарактеризуйте условия их применения.
10. Перечислите преимущества и недостатки применения при разведке буровых скважин.

11. Какие геофизические методы применяются при изучении поверхности месторождений?
12. Какие задачи при разведке позволяет решать каротаж скважин?
13. Какие данные позволяют получить применение геофизических методов при изучении межскважинного пространства?
14. Что такое система разведки?
15. Типы разведочных сетей.
16. Плотность разведочной сети; какие факторы определяют ее обоснование?
17. В чем сущность способов аналогии и разрежения при обосновании плотности разведочной сети?
18. Как осуществляется сопоставление данных разведки и эксплуатации при обосновании плотности сети наблюдений?
19. Что лежит в основе математических методов обоснования плотности разведочной сети (статистического, геометро-статистического, геостатистического и др.)?

Тема 4
Подсчет запасов полезных ископаемых

КОНДИЦИИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Кондиции на минеральное сырье представляют собой совокупность требований к качеству и количеству полезных ископаемых, горно-геологическим и иным условиям их разработки, обеспечивающим наиболее полное комплексное и безопасное использование недр на рациональной экономической основе с учетом экологических последствий эксплуатации месторождения (Методические рекомендации…, 2007; Временное руководство…, 1997). Кондиции – это основной инструмент геолого-экономической оценки месторождений. Они разрабатываются и уточняются в процессе геолого-экономической оценки месторождений по материалам их разведки и эксплуатации на основе специального технико-экономического обоснования (ТЭО).

Для подсчета запасов рудных месторождений, а также отдельных видов нерудного сырья (горно-химического, плавикового шпата, барита, графита, талька, асбеста, слюды), кондиции могут включать следующие параметры:

- бортовое содержание компонента в пробе или условия оконтуривания рудных тел в геологических границах;
- минимальное содержание компонента в краевой выработке;
- минимальное промышленное содержание компонента в подсчетном блоке, запасы которого относятся к балансовым;
- коэффициенты приведения содержания попутных компонентов к основному в комплексных рудах и минимальное их содержание, учитываемое при приведении;
- максимально допустимое содержание вредных примесей в краевой пробе, оконтуривающей выработке и по месторождению;
- минимальная мощность тел полезного ископаемого или минимальный метропроцент (метрограмм);
- максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;
- минимальный коэффициент рудоносности для месторождений с прерывистым и гнездовым распределением полезных компонентов;
- минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым.

По остальным типам месторождений полезных ископаемых (карбонатные породы, магнезиты, дуниты, цементное сырье и другие) кондиции для подсчета запасов включают:

- требования к качеству полезного ископаемого (или получаемой из него продукции) в соответствии с действующими стандартами и техническими условиями или обусловленными результатами технологических испытаний;
- условия подсчета запасов по сортам (классам, маркам) конечной продукции;
- минимальную мощность тела полезного ископаемого;
- максимально допустимую мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;

- минимальный выход конечной продукции.

Для каждого месторождения, в зависимости от геологического строения, горно-технических условий разработки и требований промышленности к качеству минерального сырья, учитывают только те их перечисленных параметров, которые необходимы для геолого-экономической оценки его промышленного назначения.

Рассмотрим важнейшие кондиционные показатели.

Бортовое содержание – это наименьшее содержание полезных компонентов в пробах, включенных в подсчет запасов, при оконтуривании по мощности тела полезного ископаемого в случае отсутствия четких геологических границ. Оно должно отвечать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. В комплексных месторождениях бортовое содержание выражается суммой содержаний полезных компонентов, имеющих промышленное значение. Эта сумма должна быть приведена к содержанию условного основного компонента, имеющего максимальную извлекаемую стоимость. Примеры оконтуривания месторождений при различных вариантах бортового содержания приведены на рисунках (рис. 32, 33).

Бортовое содержание определяется на основе повариантных подсчетов запасов. В качестве исходного варианта целесообразно применять бортовое содержание месторождения, аналогичного оцениваемому (по типу оруденения, размерам, морфологии рудных тел, вещественному составу руд, условиям разработки). Варианты с более высокими или низкими бортовыми содержаниями следует подбирать таким образом, чтобы разница в запасах руды, подсчитываемых при снижении (повышении) бортовых содержаний, составляла, как правило, не менее 10 % от общих запасов ближайшего варианта. Количество вариантов обычно не превышает 5 и чаще всего ограничивается значением 3. В случаях, когда сведения о бортовом содержании на аналогичном месторождении отсутствуют, первоначальную ориентировочную величину этого параметра в качестве исходного варианта определяют аналитическим путем, исходя из цены полезного компонента, коэффициента сквозного извлечения, разубоживания при добыче, удельных затрат на добычу и переработку. Последние определяются, исходя из укрупненных показателей намеченных систем добычи и переработки полезных ископаемых и предполагаемого масштаба месторождения. Для аналитического выражения бортового содержания применяются следующие формулы:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{борт} = [(З_д + З_о) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_д$ и $З_о$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $Ц_к$ – цена 1 т полезного компонента в концентрате без налога на добавленную стоимость (НДС), руб.; $И_о$ – коэффициент извлечения при обогащении, доли ед.; р – разубоживание при добыче, доли ед.;

б) при ценах на товарные концентраты ($Ц_к$) с установленным в них содержанием ($С_к$) полезного компонента:

$$С_{борт} = [((З_д + З_о) \cdot С_к) / (Ц_к \cdot И_о \text{ x } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Оконтуривание рудных тел в соответствии с вычисленной величиной бортового содержания и подсчет запасов позволяют установить, какова будет экономическая

эффективность разработки месторождения, а также наметить величину прочих вариантов бортового содержания. При этом верхний предел бортового содержания не должен быть выше минимального промышленного содержания, подсчитанного с учетом налогов, платежей и отчислений; нижний предел бортового содержания не должен быть ниже уровня содержаний, при которых полезный компонент не извлекается в товарную продукцию.

Минимальное содержание компонента в краевой выработке устанавливается в тех случаях, когда выявлено закономерное снижение содержаний полезных компонентов в краевых частях рудного тела. Оконтуривание рудных тел в соответствии с минимальным содержанием в краевых выработках должно соответствовать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. Это минимальное содержание определяется вариантным способом.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке – это содержание, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение всех затрат и получение минимальной установленной прибыли.

Минимальное промышленное содержание без учета налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_у$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $К_у$ – удельные капитальные вложения в строительство горнопромышленного предприятия, руб.; Е – учетная ставка банка, доли ед.; при отсутствии инфляции принимается 5-6 %;

б) при ценах на товарные концентраты:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) \cdot С_к] / [(Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Минимальное промышленное содержание с учетом налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) / (Ц_к \cdot И_о \text{ х } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%\ ,$$

где $З_{ун}$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды с учетом налогов, которые входят в структуру эксплуатационных затрат; $Н_у$ – налоги, платежи, отчисления на прибыль в расчете на 1 т годовой добычи руды;

б) при ценах на товарные концентраты

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) \cdot С_к / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Приведенное содержание полезных компонентов комплексных руд к содержанию условного компонента осуществляется с использованием переводных коэффициентов. Эти коэффициенты определяются исходя из соотношения цен полезных компонентов и коэффициентов извлечения при обогащении руд. Минимальное содержание, учитываемое при приведении к содержанию условного компонента, принимается равным содержанию, при котором минеральное образование не извлекается при принятой технологии обогащения:

$$К_{пр} = (Ц_п \cdot И_п) / (Ц_о \cdot И_о),$$

где $Ц_о$ и $Ц_п$ – цена 1 т основного и попутного компонента в концентрате, руб.; $И_о$ и $И_п$ – соответственно их коэффициенты извлечения, доли ед.

Максимальные допустимые содержания вредных примесей у полезных ископаемых, используемых без обогащения, устанавливаются в пробе или в интервале разведочной выработки в соответствии с требованиями промышленности. Если при отработке месторождения предусматривается усреднение добытого минерального сырья, максимально допустимое содержание вредных примесей может быть установлено для подсчетного блока. При обогащении полезного ископаемого, когда вредные примеси полностью или частично переходят в концентрат и не извлекаются из него в дальнейшем, соответствующие ограничения вводятся для подсчетного блока. В случае, когда для удаления вредных примесей из концентрата требуется дополнительная переработка, их содержание в подсчетном блоке учитывается через величину минимального промышленного содержания полезного компонента.

Минимальная мощность полезного ископаемого и *максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных полезных ископаемых* устанавливается исходя из принятого способа и системы разработки месторождения. Целесообразность отработки рудных тел меньшей мощности, но с повышенным содержанием полезных компонентов, определяется по *метропроценту* (*метрограмму*) исходя из установленной минимальной мощности тела полезного ископаемого и бортового содержания.

В случае сложного строения рудных тел, когда рудные интервалы чередуются с безрудными, для уточнения величины максимально допустимой мощности прослоев пустых пород и некондиционных руд проводится подсчет запасов при разной мощности этих слоев по каждому из оцениваемых вариантов бортового содержания. Оценка влияния прослоев на размеры и форму рудных тел и последующую эффективность добычи и переработки полезного ископаемого позволяет установить оптимальную величину этого параметра кондиций.

Коэффициент рудоносности применяется в случае невозможности выделить и оконтурить в процессе геологоразведочных работ отдельные рудные тела. Минимальная величина коэффициента рудоносности устанавливается для подсчетного блока, исходя из минимально приемлемой рентабельности разработки месторождения, при определении которой наряду с общепринятыми затратами учитываются дополнительные, связанные с доразведкой и оконтуриванием рудных тел и их селективной выемкой.

Минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым ($Q_{мин}$), устанавливаются исходя из дополнительных расходов, связанных с их вскрытием и отработкой, по формуле:

$$Q_{мин} = [К_д \cdot (1\text{-}р)] / [(Ц_{из} – З_{ун} – Н_у – К_д \cdot Е) \cdot (1\text{-}п)],$$

где $К_д$ – капитальные вложения, необходимые на проходку дополнительных вскрышных выработок, руб.; $Ц_{из}$ – извлекаемая в концентрат ценность полезных компонентов из 1 т руды, руб.; п – потери при добыче, доли ед.

ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАПАСОВ

Оконтуривание является одной из самых ответственных операций при подсчете запасов. Оно заключается в ограничении рудных тел или их разведанных участков на площади и в разрезе.

Оконтуривание запасов ведется по промышленным кондициям. Запасы оконтуриваются по трем направлениям: *мощности, простиранию и падению* рудной залежи. Исходными материалами для оконтуривания служат данные геологической документации и результаты опробования.

Контур может представлять собой: 1) естественные границы рудных тел; 2) линию с бортовым содержанием; 3) линию с нулевым содержанием полезного компонента; 4) линию с минимальной промышленной мощностью рудного тела; 5) линии разных типов и сортов руд; 6) линии, разграничивающие запасы разных категорий; 7) линии участков с разными условиями вскрытия и разработки; 8) линии предельного содержания вредных примесей. Некоторые типы контуров приведены на рисунках 34, 35.

Если тело не имеет естественных природных границ, его оконтуривают чаще всего по бортовому содержанию или по минимальной промышленной мощности.

При оконтуривании запасов различают внутренний и внешний контуры. *Внутренний контур* – линия, соединяющая крайние точки с кондиционными содержанием и мощностью; *внешний контур* – линия, проведенная за пределами этих точек по более низким (некондиционным) показателям. Площадь между внутренним и внешним контурами принято называть *межконтурной полосой* (рис. 36).

Оконтуривание начинается с определения *опорных точек,* через которые затем проводится линия контура. Положение опорных точек устанавливают методами интерполяции и экстраполяции. *Метод интерполяции* заключается в определении мощности или содержания между смежными выработками. *Метод экстраполяции* состоит в определении мощности или содержания за пределами выработок. Различают *ограниченную экстраполяцию,* когда внешняя контурная линия проводится между рудной и безрудной точками, и *неограниченную экстраполяцию*, когда эта линия проводится за пределами контура выработок, где данные о параметрах рудного тела отсутствуют.

Положение опорной точки между двумя пробами определяется с помощью интерполяции, если содержание полезного компонента изменяется закономерно, то есть переход между рудой и вмещающими породами постепенный. При незакономерном изменении содержания промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами с кондиционным и некондиционным содержанием или даже через крайнюю кондиционную пробу. Положение опорной точки при экстраполяции принимается на половине, трети или четверти расстояния между выработками или определяется по естественным формам выклинивания рудных тел.

Для полого залегающих плоских изометричных тел площадь оконтуривается в плане, для крутопадающих плоских тел – на продольных разрезах и вертикальных проекциях. Для крутопадающих тел с выдержанными углами падения оконтуривание площади иногда проводят на проекции, параллельной плоскости падения.

Как во внутренних, так и во внешних контурах, производится блокировка запасов по категориям, типам и сортам руд, условиям залегания, вскрытия, разработки и т. д.

Вначале оконтуривание выполняется по отдельным выработкам, затем по отдельным разведочным сечениям (вертикальным или горизонтальным) и только потом в целом по рудному телу.

*Оконтуривание рудных тел в пределах отдельных разведочных выработок з*ависит от их ориентировки относительно рудного тела. В *секущих* выработках при наличии четких геологических контактов с вмещающими породами границы тела определяются по данным непосредственных наблюдений в забое горных выработок или по керну буровых скважин. При отсутствии четких геологических контактов границы тела полезного ископаемого определяются по результатам опробования и проводятся между породами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента. При этом возможны 2 случая: а) если опробование выполнено сплошной бороздой, контур тела проводится по границе последней пробы, показавшей кондиционное содержание; б) если опробование проводится с интервалом между пробами, то границы промышленной части тела проводят между пробами способом интерполяции.

При незакономерном изменении содержания полезного компонента промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента (рис. 37).

В *прослеживающих* выработках кроме распределения полезного компонента необходимо учитывать и характер выклинивания рудного тела. При резком выклинивании контур проводится по данным непосредственных наблюдений. При постепенном выклинивании учитывается характер изменения содержания и мощности.

Если содержание полезного компонента снижается постепенно, а мощность остается постоянной, то оконтуривание производится по содержанию. Здесь существуют те же два варианта, что и для секущих выработок: при опробовании сплошной бороздой контур проводят через границу последней кондиционной пробы, а при поинтервальном опробовании – методом интерполяции по приведенной выше формуле.

Если наблюдается постепенное уменьшение мощности тела, а содержание остается постоянным, то контур проводится либо по мощности, либо по метропроценту (метрограмму). Граница промышленной части тела определяется по следующим формулам:

$$X=L(M_{мин}-M_B)/(M_A-M_B),$$

где X – расстояние от точки B с некондиционной пробой пробы до контура тела; L – расстояние между кондиционной (A) и некондиционной (B) пробами; M_A и M_B –мощности тела соответственно в точках A и B; $M_{мин}$ – минимальная мощность, установленная кондициями;

$$X=L(M\%_{мин} - M\%_B)/(M\%_A - M\%_B),$$

где $M\%_{мин}$ – минимальный метропроцент, установленный кондициями; $M\%_A$ и $M\%_B$ – значение метропроцента соответственно в точках A и B.

Положение контура тела может быть намечено также по данным непосредственных замеров мощности в выработках.

Наконец, при одновременном уменьшении мощности тела и содержания полезного компонента оконтуривание производится по минимальному метропроценту (метрограмму).

Положение контура тела между двумя точками можно определять также графическим способом или специальной палеткой (транспарантом).

Учитывая, что расстояния между пробами обычно небольшие, особенно для руд цветных, редких металлов и золота, нередко поступают проще: проводят контур посередине между кондиционной и некондиционной пробами.

Оконтуривание тел полезных ископаемых по совокупности разведочных выработок производится на планах, разрезах или проекциях. При этом различают 3 случая проведения контура: 1) по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках; 2) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными; 3) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – отсутствием полезного ископаемого.

Проведение контура по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках, выполняется двумя путями. При наличии четких геологических границ рудных тел опорные точки наносятся на планы, разрезы или проекции по данным непосредственных замеров в выработках (рис. 38). При отсутствии четких границ опорные точки определяются в пределах каждой выработки по данным химических анализов описанными выше способами. Оконтуривание состоит в соединении опорных точек.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными, производится в зависимости от характера распределения полезного компонента. При равномерном распределении и постепенном изменении содержания полезного компонента опорные точки определяются рассмотренным выше способом интерполяции с использованием приведенных формул, графически или с помощью палетки. При неравномерном распределении полезного компонента или неравномерном изменении мощности контур обычно проводят через середину расстояния между выработкой с кондиционными и выработкой с некондиционными показателями. На месторождениях с крайне неравномерным распределением полезного компонента контур рудного тела часто проводят через крайние кондиционные выработки.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, а другая фиксирует полное отсутствие тела полезного ископаемого, осуществляется в зависимости от характера выклинивания тела. При резком выклинивании промышленный контур проводят через середину расстояния между выработками, то есть способом ограниченной экстраполяции. Кондиционная мощность тела, вскрытая выработкой, распространяется до середины расстояния между выработками. При закономерном, постепенном выклинивании рудного тела нулевой контур также проводят через середину расстояния между выработками, а положение подсчетного контура определяется способом интерполяции между выработкой с промышленной концентрацией полезного ископаемого и принятым нулевым контуром (рис. 39).

Описанные приемы оконтуривания тел обычно применяются для определения положения контура не только между разведочными выработками (рис. 40), но и между разведочными разрезами (линиями).

Определение контуров тел полезных ископаемых за пределами разведочных выработок, или неограниченная экстраполяция, практикуется для запасов низких категорий C_1 и C_2, подлежащих дальнейшей разведке. При оконтуривании используются разнообразные геологические, морфологические, геофизические, статистические и геометрические приемы.

ПАРАМЕТРЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Подсчет запасов полезных ископаемых в общем случае осуществляется по следующей схеме:

1) определяется объем залежи V как произведение площади S на среднюю мощность M: $V = S \cdot M$;

2) определяется запас руды Q как произведение объема V на объемную массу D: $Q = V \cdot D$, при этом обязательно учитывается естественная влажность руд;

3) определяется запас металла P как произведение запаса руды Q на среднее содержание металла C: $P = Q \cdot C \cdot 10^{-2}$, если содержание выражено в %, или $P = Q \cdot C \cdot 10^{-6}$, если в г/т.

Для одних полезных ископаемых (многие виды строительных материалов, природный газ, а в западных странах и нефть) подсчет запасов останавливается на вычислении объема. Количество некоторых иных видов сырья (железные руды, хромиты и др.) подсчитываются в виде запасов руды. Для большинства рудных элементов требуется расчет запасов металла.

Из приведенной схемы видно, что основными параметрами, необходимыми для подсчета запасов, являются площадь, средняя мощность, объемная масса руды и среднее содержание в ней полезных компонентов. Кроме того, могут использоваться разные поправочные коэффициенты.

Площадь устанавливается в результате оконтуривания рудных тел на планах и проекциях. Простые по конфигурации площади измеряются как геометрические фигуры, сложные – с помощью палетки, планиметра или курвиметра. В современных условиях площадь определяется с помощью компьютерных программ.

При наклонном залегании тела полезного ископаемого необходимо привести полученный замер площади к истинному значению, для чего вводят поправку на угол падения залежи β для замеров на плане по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \cos\beta,$$

для замеров на вертикальной проекции по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \sin\beta.$$

Мощность тела полезного ископаемого в пределах контура подсчета запасов определяется по данным горных и буровых работ, а также каротажа скважин. Если рудные тела имеют четкие геологические границы с вмещающими породами, их мощность устанавливается непосредственно с помощью замеров. Если четких геологических контуров нет, мощность рассчитывают по результатам секционного опробования по бортовому или минимальному промышленному содержанию полезного компонента.

В горных выработках мощность определяют замером расстояния от кровли до подошвы залежи при их документации и опробовании. Мощность рудных тел по данным бурения устанавливают прямыми или косвенными способами. Прямой способ – это расчет

мощности по керну при колонковом бурении и по данным опробования шлама при ударном бурении, косвенные – по данным каротажа скважин или по наблюдениям в процессе бурения за изменением скорости углубки скважин, за цветом или составом шлама.

Разведочные выработки часто пересекают тело полезного ископаемого не по истинной мощности, а под некоторым углом. При пологом залегании замеряется вертикальная мощность $M_в$, при крутом падении – горизонтальная $M_г$. По керну или геофизическим данным мощность определяется длиной рудного интервала $M_{скв}$. Эти так называемые наблюдаемые мощности отличаются от истинной мощности $M_{ист}$ и приводятся к ней по геометрическим формулам (рис. 41):

$$M_{ист.} = M_г \cdot \mathrm{Sin}\alpha,$$

$$M_{ист.} = M_в \cdot \mathrm{Cos}\alpha;$$

$$M_{ист.} = M_{скв.} \cdot \mathrm{Cos}(\alpha\text{-}\beta) \cdot \mathrm{Cos}\gamma,$$

где α – угол падения залежи, β – зенитный угол наклона скважины в месте пересечения залежи; γ – угол между азимутальным направлением скважины и азимутом падения залежи.

Среднее значение мощности определяется среднеарифметическим или средневзвешенным способом. Метод среднего арифметического применяют при более или менее равномерном распределении пунктов замера мощностей. В этом случае средняя мощность M определяется по формуле:

$$M = \sum m / n,$$

где n – количество замеров мощности.

Способ средневзвешенного применяется при резко неравномерном распределении точек замера и установленном направлении закономерностей изменчивости мощности. Средневзвешенная мощность рассчитывается по формуле:

$$M=\sum m \cdot l / \Sigma l,$$

где l – расстояние, на которое распространяется влияние значения данного замера мощности.

Объемная масса руды должна быть установлена с учетом естественной пористости, трещиноватости и кавернозности полезного ископаемого. Она определяется лабораторным или полевым способами. При применении лабораторного способа объемная масса определяется путем взвешивания образцов, покрытых пленкой парафина, в воздухе и в воде или взвешиванием и определением их объема в мерном сосуде. При полевом способе проходится горная выработка и вся добытая горная масса взвешивается, а пройденное пространство замеряется. Соотношение массы полезного ископаемого и объема даст объемную массу. Считается, что для определения объемной массы этим способом достаточно 10 м^3 полезного ископаемого. Этот способ более точный.

Объемная масса должна определяться для каждого сорта и типа полезного ископаемого, запасы которых учитываются самостоятельно. Количество определений объемной массы должно быть достаточным для надежного обоснования средних величин. Считается, что для однообразных по сложению полезных ископаемых достаточно 10-20, а для более сложных 20-30 определений объемной массы типичного материала для каждого сорта полезного ископаемого.

При этом обязательно учитывается *естественная влажность руды*, которая может достигать у отдельных полезных ископаемых 30-40 % и более. Учет естественной влажности необходим в связи с тем, что анализы проводятся с сухими навесками после просушивания проб при 105-110 ºС, а содержание полезных компонентов определяется для воздушно-сухой массы. Поэтому необходима поправка в содержание на влажность руды по формуле:

$$C_{вл.} = C_{сух.} \cdot (100 - B) / 100,$$

где $C_{вл.}$ – содержание полезного компонента по влажной руды, % или г/т; $C_{сух.}$ – то же в сухой руде; В – влажность, при которой определена объемная масса, %.

Чаще пересчитывают не содержание на сырую руду, а объемную массу сырой руды $D_{вл.}$ на сухую $D_{сух.}$ по формуле:

$$D_{сух.} = D_{вл.} \cdot (100 - B) / 100.$$

Естественная влажность определяется как отношение потери массы штуфа в результате высушивания к массе влажного образца и вычисляется путем сравнения массы проб влажного минерального сырья $Q_{вл.}$ с массой тех же проб, просушенных до постоянной массы при 105-110 ºС, $Q_{сух.}$, по формуле:

$$B = 100 \cdot (1 - Q_{сух.} / Q_{вл.}).$$

Необходимо учитывать, что влажность не является величиной постоянной и изменяется в зависимости от глубины залегания полезного ископаемого, времени года, уровня грунтовых вод и др.

Среднее содержание определяется как среднеарифметическое или средневзвешенное по скважине, выработке, горизонту, блоку, участку и месторождению в целом. Чаще всего применяют среднее содержание, взвешенное на длину проб, то есть на их мощность.

Поправочные коэффициенты вводятся для *уменьшения запасов* при прерывистом (дискретном) оруденении, разобщенности рудных тел, наличии безрудных даек, участков пустых пород, валунов и т. п. Коэффициенты для *увеличения запасов* применяются при избирательном выкрашивании рудных компонентов из керна, при намыве ценных компонентов при разработке россыпей. Могут вводиться поправочные коэффициенты на систематические погрешности химанализов, замеров мощностей в скважинах и др.

МЕТОДЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Существует довольно много разных методов подсчета запасов. Все они основаны на определении объема подсчетных контуров, которые сравниваются с равновеликими геометрическими фигурами. Запасы подсчитываются по простейшим формулам:

$$V = S \cdot m,\ Q = V \cdot d,\ P = Q \cdot C / 100,$$

где V – объем тела полезных ископаемых, S – площадь тела на проекции, m – средняя мощность, Q – запасы руды, d – объемная масса руды, C – среднее содержание полезного компонента в %.

Наибольшим распространением пользуются методы геологических и эксплуатационных блоков, разрезов и статистический.

Метод геологических блоков является универсальным для подсчета запасов плоских тел. При этом методе выделяют блоки разной величины, отличающиеся по степени разведанности, мощности, содержанию полезных компонентов, типам и сортам руд, технологическим свойствам, гидрогеологическим и горнотехническим условиям (рис. 42).

Частным случаем этого метода является *метод среднего арифметического,* когда все тело рассматривается как один подсчетный блок.

Метод эксплуатационных блоков применяется также для подсчета запасов плоских тел, разделенных горными выработками и буровыми скважинами на эксплуатационные блоки. Оконтуривание и подсчет запасов по каждому блоку аналогично методу геологических блоков (рис. 43).

Метод разрезов применяют для подсчета запасов изометричных, трудообразных и сложных по форме тел (рис. 44, 45). Разрезы могут быть *вертикальными* или *горизонтальными*. Заключенная между смежными разрезами часть рудного тела рассматривается как призма, если площади смежных сечений близки, или как пирамида, если эти сечения существенно различаются по площади. Объем части рудного тела между двумя разрезами определяется соответственно по формуле для призмы или пирамиды. Объем крайних блоков, каждый из которых опирается на один разрез, определяется по формуле клина. При непараллельных разрезах вносятся соответствующие поправки к подсчету объемов. Среднее содержание определяют вначале для каждого разреза. В блоке, ограниченном двумя разрезами, оно вычисляется как среднеарифметическое или средневзвешенное на площадь сечения.

При крайне дискретном оруденении подсчет запасов проводят *статистическими методами*. Это относится в основном к месторождениям IV группы, когда совмещаются разведка и эксплуатация. По результатам этих работ оценивается средняя продуктивность исследуемого участка и распространяется на менее изученную потенциально рудоносную часть месторождения.

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ СОПУТСТВУЮЩИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

К попутным полезным ископаемым относятся минеральные комплексы (горные породы, руды, подземные воды, рассолы), добыча которых при разработке основного полезного ископаемого экономически целесообразна. К *попутным компонентам* относятся заключенные в полезных ископаемых минералы, металлы и другие химические элементы в их соединениях, которые не имеют определяющего значения для промышленной оценки месторождения, но при переработке полезных ископаемых могут быть рентабельно извлечены и реализованы на внутреннем или международном рынке.

Попутные полезные ископаемые и компоненты в зависимости от форм нахождения, связи с основными для данного месторождения полезными ископаемыми и компонентами и с учетом требований, предъявляемых промышленностью к условиям их разработки (извлечения), разделяются на три группы (Шевелев, 2004). *К первой группе* относятся попутные полезные ископаемые, образующие самостоятельные пласты, залежи или рудные тела в породах, вмещающих основные рудные тела:

- железные руды на марганцевых месторождениях;

- серный колчедан, барит-полиметаллические руды, золотосодержащие кварциты на медноколчеданных месторождениях;
- свинцовые и медно-свинцовые руды на месторождениях медистых песчаников;
- огнеупорные глины, каолины на месторождениях бокситов и угля и др.

К этой же группе относятся вскрышные породы, по составу и свойствам пригодные для производства строительных материалов или для других целей, а также торф и в некоторых случаях почвенно-растительный слой и породы, пригодные для использования в сельском хозяйстве.

К жидким попутным полезным ископаемым относятся подземные воды, участвующие в обводнении подземных горных выработок, если они пригодны для водоснабжения, извлечения из них ценных компонентов или бальнеологических целей.

Ко второй группе относятся попутные компоненты, образующие собственные минералы, которые при обогащении могут быть выделены в самостоятельные концентраты или промпродукты, а в отдельных случаях накапливающиеся в продуктах обогащения основных компонентов в количестве, допускающем их последующее извлечение на экономически рациональной основе.

В эту группу могут быть объединены:
- титановые, медные и ванадийсодержащие минералы, золото- и кобальтсодержащий пирит, иногда апатит, гатчеттолит, бадделеит в железных рудах;
- сера (пирит и другие сульфиды), минералы свинца, цинка, серебра, самородное золото, кобальтсодержащий пирит в медноколчеданных рудах;
- молибденит в меднопорфировых месторождениях в гранитоидах, ванадийсодержащие минералы, апатит, титаномагнетит – в габброидах;
- минералы кобальта и серебра в медно-никелевых месторождениях;
- минералы меди, висмута, серебра, барит, флюорит в полиметаллических рудах и др.

К третьей группе относятся разного рода примеси в минералах основных и попутных компонентов (изоморфные, механические, микровключения собственных минералов и др.), а также органические, металлические или металлоорганические соединения в углях и углистых породах. Преобладающую часть попутных компонентов третьей группы составляют рассеянные элементы, широко распространенных в разных твердых полезных ископаемых при весьма низком содержании. К этой же группе относятся примеси в рудных минералах золота, серебра, платиноидов, тантала, молибдена и др.

При обогащении полезных ископаемых эти компоненты накапливаются в концентратах основных компонентов, а при переработке концентратов или непосредственном использовании полезных ископаемых в металлургическом, химическом, энергетическом и других производствах концентрируются в товарных продуктах или отходах.

К этой же группе относятся попутные компоненты, присутствующие в нефти и газе и выделяемые лишь при их переработке, а также заключенные в подземных минерализованных водах или рассолах. Состав попутных компонентов третьей группы зависит от вида полезного ископаемого и типа руд.

В полиметаллических рудах присутствует сурьма, кадмий, теллур, таллий, галлий, иногда германий.

Медноколчеданные руды обычно содержат селен, кадмий, теллур, реже таллий, индий, иногда кобальт, висмут, галлий и германий. В медистых песчаниках присутствует рений, реже германий, селен и таллий. В медно-никелевых рудах содержатся платиноиды, кобальт, сера, селен, теллур, таллий, галлий, германий.

Для медно-молибденовых руд характерно присутствие рения, селена, теллура, в меньшей степени индия, германия и галлия. Высокими концентрациями рения и низкими селена, теллура, германия и галлия характеризуются молибденовые руды.

Сульфидно-касситеритовым рудам обычно свойственны повышенные концентрации индия, кварц-касситеритовым и вольфрамитовым – скандия, иногда тантала. В кварц-золоторудных месторождениях нередко присутствует теллур, а в золотосульфидных – индий, кадмий, селен, теллур и платина.

Бокситы содержат галлий, ванадий, скандий, алуниты и нефелины – галлий и ванадий. Иногда в алюминиевом сырье в небольшом количестве содержится германий. В месторождениях калийных солей присутствует бром и рубидий, иногда цезий, в некоторых месторождениях каменной соли – литий.

В апатит-нефелиновых рудах содержится титан, галлий, стронций, редкие земли.

Угли и углистые породы могут содержать повышенное содержание германия, урана, галлия, реже – ванадия и рения. В подземных водах наряду с йодом и бромом присутствуют соединения магния, калия, бора, иногда лития, рубидия, цезия, стронция, германия и другие компоненты.

Изучение и геолого-экономическая оценка попутных полезных ископаемых и компонентов производится на всех стадиях геологоразведочных работ и в процессе освоения месторождения.

Запасы попутных полезных ископаемых (компонентов руд) должны подсчитываться способом, отвечающим характеру их залегания в месторождении или распределения в рудах, также учитывающим особенности промышленного использования запасов, которые определяют уровень и показатели их оценки.

При подсчете запасов попутных полезных ископаемых первой группы, образующих самостоятельные рудные и нерудные залежи во вскрыше месторождений, используются способы, применяемые при подсчете запасов аналогичных видов сырья в самостоятельных месторождениях.

Подсчет запасов попутных компонентов второй группы осуществляется в контурах запасов основного полезного ископаемого в соответствии с существующими для них требованиями. Для их изучения и оценки проводятся специальные минералого-геохимические исследования руд и отбираются групповые пробы.

Запасы попутных компонентов третьей группы подсчитываются и учитываются в месторождениях, целесообразность промышленного освоения которых обеспечивается экономикой извлечения основного компонента. При этом подсчет запасов попутных компонентов данной группы выполняется исключительно в пределах контура подсчета балансовых и забалансовых запасов основного компонента.

Комплексное изучение полезных ископаемых должно сопровождаться статистической обработкой результатов опробования на основные и попутные компоненты для обоснования возможности подсчета попутных компонентов корреляционно-регрессионным способом. Статистической обработке должно предшествовать выявление по данным минералогических исследований геохимической связи между отдельными попутными и основными компонентами, выражающейся в преобладании приуроченности того или иного попутного компонента к минералам одного из основных компонентов.

Параметры кондиций для подсчета запасов должны содержать:

- для каждого технологического типа полезного ископаемого – перечень попутных компонентов, запасы которых подлежат подсчету как балансовые;
- минимальное содержание попутных компонентов, учитываемые при приведении к условному содержанию основного компонента; переводные коэффициенты;
- минимальные содержания попутных компонентов в подсчетных блоках и отдельных рудных телах (залежах, пластах), если раздельная выемка и переработка полезных ископаемых с целью извлечения этих компонентов технически возможна и экономически целесообразна;
- дополнительные условия подсчета валовых и извлекаемых запасов попутных компонентов: по содержанию в рядовых или групповых пробах, по содержанию в минералах или концентратах, в целом по месторождению, по отдельным рудным телам или в подсчетных блоках.

ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

Сопоставление данных разведки и эксплуатации показывает, что расхождения в определении контуров рудных тел, подсчетных параметров, количественных и качественных показателей неизбежны. Причины этого в том, что разведка осуществляется по прерывистой сети наблюдений, а за пределами разведочных выработок параметры оруденения определяются путем интерполяции и экстраполяции. С другой стороны, при эксплуатации имеют место потери и разубоживание руд, которые при проектировании эксплуатации учитываются приближенно, что тоже вносит свой вклад в расхождение данных разведки и эксплуатации.

Небольшие отклонения рассматриваются как погрешности подсчета запасов. Если ошибки значительны, то говорят о неподтверждении запасов или качества минерального сырья.

Погрешности, возникающие при подсчете, подразделяются на три основные группы: геологические, технические и методические.

Геологические погрешности, или ошибки аналогии, возникают в результате распространения фактических данных, полученных при разведке по отдельным выработкам и скважинам, на соседние участки. Эти погрешности подвержены резким колебаниям, величина их зависит от степени изменчивости параметров оруденения, а также от плотности и равномерности разведочной сети. Геологические погрешности приводят к наиболее крупным ошибкам подсчета запасов, достигающим для категорий А и В до 10-15 %, а в отдельных случаях и выше.

Наиболее типичными геологическими ошибками являются объединение разрозненных мелких рудных тел в крупные, включение в один блок разных по качеству, технологии переработки или условиям залегания руд.

Технические погрешности связаны с техникой замеров и определения исходных параметров для подсчета запасов. Эта группа включает точность замеров мощности, химических анализов, определения объемной массы, естественной влажности и т. д.

Технические ошибки могут быть случайными и систематическими. Неизбежные случайные погрешности обычно не оказывают существенного влияния на точность определения запасов, поскольку, обладая переменным знаком, они взаимно компенсируются.

Систематические погрешности значительно более опасны, так как искажают результаты подсчета запасов, регулярно завышая или занижая их. Если имеются данные о систематических погрешностях, то категории запасов должны быть снижены. Систематические погрешности и их величина устанавливаются специальными контрольными методами, которые позволяют определить соответствующие поправочные коэффициенты и откорректировать результаты подсчета. К ним относятся коэффициент рудоносности, поправочный коэффициент к результатам химических анализов, к объемной массе и др. Систематические погрешности считаются недопустимыми и требуют устранения, хотя это не всегда удается.

Методические погрешности связаны с применением разных методов подсчета запасов. В целом, применение того или иного метода не оказывает существенного влияния на результаты подсчета. Различия обычно составляют 1-5 %, что находится в пределах точности технических операций подсчета. Снизить методические погрешности до минимума позволяет выбор метода подсчета запасов, который наиболее полно соответствует методике разведки и особенностям геологического строения месторождения, дает возможность учитывать распределение качественных показателей (типов и сортов руд) и в то же время сократить затраты времени и средств на разведку.

Оценка погрешностей подсчета запасов в процессе разведки является довольно сложной операцией. В действующих нормативных документах рекомендуется осуществлять подсчет запасов несколькими методами (Шевелев, 2004; Авдонин 2007).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

В последнее время при подсчете запасов все в большей степени используют компьютерные технологии. В том числе, применяют приемы блочного моделирования, реализуемые на основе геоинформационных систем (Micromine, Surpak, Datamine и др.).

При обосновании методики моделирования необходимо учитывать особенности геологического строения месторождения, степень его изученности и последовательность проведения разведочных работ. Общая схема компьютерного моделирования и подсчета запасов включает:

- импорт базы геологоразведочных данных;
- проверку базы данных, ввод дополнительной информации;

- статистический анализ данных опробования и определение природных (естественных) бортовых содержаний компонентов;
- оконтуривание рудных тел с использованием кондиций и естественного бортового содержания;
- геометризацию месторождения – каркасное моделирование рудных тел, тектонических нарушений и т. д. (рис. 46);
- геостатистический анализ исследуемых компонентов;
- определение параметров интерполяции;
- блочное моделирование (рис.47);
- интерполяцию содержаний в блочную модель, используя альтернативные методы (обычный кригинг, индикаторный кригинг, метод обратных расстояний и др.);
- оценку запасов и их сравнение с более ранними оценками;
- классификацию запасов/ресурсов.

Схема построения блочной модели (БМ) показана на рисунке 48 (Рекомендации…, 2014).

Блочное моделирование основывается на разделении пространства месторождения на элементарные блоки (ячейки), в которых значения свойств объекта (в частности содержания полезного компонента) интерполируются из исходных данных опробования с учетом рассчитанных весовых коэффициентов. Для этого используются разные методы интерполяции, среди которых чаще применяются метод обратных расстояний (детерминистический способ) и кригинг (геостатистический метод).

Наиболее перспективным является *кригинг*, в основе которого лежат геостатистические исследования данных опробования. Геостатистика на сегодня является наиболее мощным инструментом для получения достоверной информации о запасах полезных ископаемых в недрах, оптимального планирования их отработки и проведения геологоразведочных работ. Геостатистический метод решает *две основные задачи*: нахождение наиболее вероятной оценки запасов руды и определение точности этой оценки.

Предварительной стадией геостатистического исследования является статистический анализ: расчет гистограммы распределений значений содержаний компонентов полезных ископаемых по классам, построение графика накопленных частот, подбор законов распределения данных и определение основных статистических параметров. Вид гистограммы позволяет фиксировать явные погрешности в исходных данных геологического опробования. Следующий этап – вариограммный анализ (вариография). Используется экспериментальная вариограмма, которая строится по результатам опробования (выборочным данным) и учитывает все пары проб, удаленных на некоторое расстояние. Вариограммный анализ начинается без учета направления вектора расстояния. Полученная функция отражает такие свойства случайной величины как: стационарность, наличие эффекта самородков, значение порога и зону влияния. Эти характеристики подбираются в интерактивном режиме с помощью моделирования теоретической функцией, аппроксимирующей дискретную экспериментальную вариограмму. Для дальнейшего исследования необходимо изучить характер корреляционных связей между пробами в различных направлениях, для чего следует

построить вариограммы по направлениям. Для каждого направления определяется зона влияния (см. раздел «11.3. Математические способы…). Это необходимый шаг для выявления анизотропии залежи и взаимного влияния значений случайных величин.

Следующей стадией после вариограммного анализа залежи является ее моделирование и оценка запасов. Размеры блоков блочной модели выбираются с таким расчетом, чтобы получить наиболее детальную оценку запасов по всему объему месторождения. Заключительный этап анализа – кригинг (геостатистическая оценка содержаний полезных ископаемых).

Кригинг. Предпосылкой развития геостатистических методов послужило расхождение между содержаниями многих металлов в разведочных пробах и в реально извлекаемых объемах руд. Точность оценки зависит от ряда факторов: количества проб и их значений, расположения проб (здесь важна равномерность их размещения), расстояния между пробами и точкой в середине оцениваемого блока, наличие пространственной непрерывности рассматриваемой переменной. Кригинг – метод интерполяции, который учитывает все эти факторы, был придуман южноафриканским горным инженером Д. Криге и потом усовершенствован Ж. Матероном.

В большинстве методов интерполяции сначала задается диаметр поискового круга (или эллипса). Все точки, попавшие в поисковый круг, используются для расчета взвешенного среднего, которое будет приписано середине элементарного блока. Веса, с которыми будут учитываться исходные точки, зависят (в той или иной мере) от расстояния от узла до этой точки. Разные методы интерполяции – это разные способы взвешивания исходных данных в зависимости от расстояния. В кригинге, как методе интерполяции, взвешивание производится сложнее, чем в других методах. Допустим, что в поисковый круг попали несколько проб. Расстояния между пробами и расстояния между серединой оцениваемого блока или его границами используется для снятия вариограмных значений с модельной вариограммы. Затем вариограмные значения заносятся в матрицы системы линейных уравнений; рассчитываются коэффициенты уравнений, которые и являются весами значений компонента в пробах. После рассчитывается оценка элементарного блока модели рудной залежи.

При решении способом, выбранным Ж. Матероном, появляется небольшое по величине число μ – множитель Лагранжа. Чем множитель меньше, тем более надежно решена система линейных уравнений.

Кригинговая оценка рассчитывается по формуле:

$$Z_k = \sum_{i=1}^{n} a_i Z_i,$$

где Z_k – кригинговая интерполяционная оценка изучаемой переменной; Z_i – значения переменной в n точках, попавших в круг поиска; a_i – веса. Обычно на практике в поисковый круг попадает несколько десятков или также сотен окружающих проб. Соответственно и матричное уравнение расширяется до сотен строк и столбцов. Считается, что кригинг – это интерполяционная процедура, дающая оценки с наименьшей дисперсией.

Другие методы интерполяции основаны на наличии заданной аналитической зависимости между значениями в пространстве, выраженной формулой. Наиболее часто используются линейные интерполяторы. К ним относится *метод обратных расстояний*

(IDW).При его использовании учитываются расстояния ячейки от близлежащих разведочных выработок. Чем дальше находится разведочная выработка от ячейки, тем слабее ее влияние. Значение параметра *z* в ячейке находят по формуле средневзвешенного:

$$z = \sum_{i=1}^{n}(z_i p_i / \sum p_i),$$

где z_i – значения параметра в разведочных выработках; p_i – весовые коэффициенты, зависящие от расстояния *r* ячейки от разведочных выработок; *n* – количество близлежащих разведочных выработок. Весовые коэффициенты определяют по формуле $p_i = 1/r_i^2$. В расчет параметра *z* включают разведочные выработки, расположенные не далее некоторого заранее заданного расстояния от ячейки. Если центр ячейки совпадает с какой-либо разведочной выработкой, значение *z* принимается таким же, как в разведочной выработке (Поротов, 2004).

В ГКЗ за последние два десятилетия накоплен достаточно большой опыт применения блочного моделирования при подготовке ТЭО и подсчете запасов. Примерами объектов, где блочное моделирование использовалось для решения сформулированных задач, являются золоторудные месторождения (Наталкинское, Тасеевское, Куранах, Дегдекан, Чертово Корыто, Верненское, участок Перевальный, Попутненское, Штурмовское и др.), урановорудные (Орловское, Березовское, Горное), медно-порфировые (Михеевское, Песчанка, Молмыж, Томинское и др.), редкометалльные (Зашихинское), а также ряд других. Запасы золоторудного месторождения Кючус утверждены ГКЗ по данным блочного моделирования (Рекомендации…, 2014).

Удовлетворительная сопоставимость результатов подсчета запасовдля разных вариантов кондиций отмечается для месторождений с зональным типом пространственного размещения оруденения, например, на медно-порфировых объектах (Песчанка, Томинское, Михеевское, Молмыж). Для корректной геометризации запасов в них может быть применена методика локального анизотропного кригинга (ЛАК). Она позволяет определить ориентировку осей анизотропии в локальных участках объекта на основе минимизации дисперсии по пробам, попадающим в границы эллипсоида при разных вариантах его положения. Эта процедура наиболее эффективна при достаточно плотной сети наблюдений.

На месторождениях сложного строения с высокой изменчивостью геологоразведочных параметров расхождения в оценке запасов отмечаются наиболее часто. Дополнительными факторами, осложняющими применение блочного моделирования, являются недостаточная плотность сети по отдельным участкам месторождения и высокие значения эффекта самородков. К объектам этого типа можно отнести жильные зоны, штокверки и штокверкоподобные золоторудные месторождения.

Основным приемом, позволяющим добиться удовлетворительной сопоставимости результатов для разных способов подсчета запасов, является построение каркасов, опирающихся на рудные интервалы, выделенных по соответствующим кондиционным показателям. Этот прием требует построения отдельных «жестких» каркасов для каждого варианта бортового содержания, но считается достаточно трудоемким.

Таким образом, информационные технологии являются т*ехническим*, а геостатистическое и блочное моделирование месторождений твердых полезных ископаемых – *методическим средством* подсчета запасов и технико-экономического

обоснования кондиций, удовлетворяющим требованиям международного аудита. Учет их необходим для рационального недропользования в Российской Федерации, а также привлечения иностранных инвестиций.

Контрольные вопросы по теме 4

1. Содержание и назначение промышленных кондиций
2. Основные кондиционные показатели
3. Применение и определение бортового содержания
4. Применение и определение минимального промышленного содержания
5. Виды контуров запасов полезных ископаемых
6. Последовательность оконтуривания запасов
7. Методические приемы оконтуривания запасов
8. Определение параметров подсчета запасов
9. Характеристика ведущих методов подсчета запасов
10. Особенности подсчета запасов попутных полезных ископаемых

Тема 5
Геолого-экономическая оценка месторождений

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЭО

Геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождений заключается в определении количества и качества запасов полезного ископаемого в недрах, выявлении условий залегания и добычи, обосновании технико-экономических показателей разработки. ГЭО – важнейшая составная часть геологоразведочного процесса. Она призвана определить промышленную значимость объекта в наиболее эффективном варианте его возможного промышленного освоения.

Основными задачами ГЭО являются (Временное…, 1998):

- определение количества и качества балансовых и забалансовых запасов, а также обоснование кондиций для их подсчета;
- расчет технико-экономических показателей промышленной ценности месторождения;
- обоснование оптимального варианта освоения месторождения;
- расчет размера регулярных платежей за право пользования недрами и др.

ГЭО промышленного значения месторождений производится на всех без исключения стадиях геологоразведочных работ и разработки (см. раздел 5 «Стадийность ГРР»). Однако содержание этого вида исследования во многом зависит от фактического материала, позволяющего дать объективную оценку качества и количества выявленных запасов или прогнозных ресурсов. Только на стадии разведки, в меньшей степени на стадии оценочных работ, могут быть получены достаточно полные сведения о геологическом строении объекта, позволяющие объективно охарактеризовать качество и количество запасов полезного ископаемого, технологические свойства минерального сырья, горнотехнические, гидрогеологические, экологические условия отработки. На стадиях регионального геологического изучения недр и поисковых работ оцениваются лишь прогнозные ресурсы. Практическая значимость прогнозных ресурсов определяется по результатам их ГЭО, когда устанавливается вероятное промышленное значение прогнозируемых месторождений.

Геологическое обоснование прогнозных ресурсов осуществляется в соответствии с Методическим руководством (Методическое руководство по оценке…, Богданов и др., 1986) и с учетом современных представлений по геолого-промышленных типам месторождений (на основе принципиальных геолого-генетических моделей процессов рудообразования).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЭО

Географо-экономическая характеристика района

Приводится географическое и административное положение месторождения, его удаленность от ближайшей железнодорожной станции, автомобильных дорог, населенных пунктов и возможного потребителя сырья; природно-климатические условия; освоенность района, население, его занятость, возможные источники энергоснабжения, обеспеченность стройматериалами.

Геологическое строение района

Приводятся краткие сведения об изученности и геологическом строении района, о закономерностях размещения месторождений всех видов минерального сырья.

Геологическое строение месторождения

Особенности геологического строения; структурные, литологические и иные факторы, определяющие условия залегания, морфологию рудных тел, вещественный состав руд, распределение основных и попутных компонентов, а также вредных примесей; наличие обогащенных участков и закономерности их размещения; сведения об изменчивости основных параметров рудных тел по простиранию и падению. Наличие промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, подлежащих раздельной добыче и переработке; характеристика их качества. Наличие и закономерности распределения безрудных прослоев, характеристика слагающих их пород.

Для россыпных месторождений – характеристика особенностей формы, размеров и состава продуктивного «пласта», состава и мощности «торфов», строение плотика; содержание ценных компонентов; размер, форма и прочие особенности зерен полезных минералов, пробность золота.

Группа сложности месторождения в соответствии с классификацией запасов и прогнозных ресурсов.

Методика геологоразведочных работ

Сведения о проведенной топографической съемке, системе координат и привязке разведочных выработок.

Изученность поверхности месторождения – геологическая съемка, геохимические и геофизические исследования, проходка шурфов и канав.

Изученность глубоких горизонтов месторождения – система разведки; плотность разведочной сети; обоснование участка, разведанного по более высокой категории; сводная таблица видов и объемов геологоразведочных работ; объем выработок, участвующих в подсчете запасов.

Глубина, диаметры и конструкция разведочных скважин, способ и технология бурения, результаты замеров зенитных и азимутальных искривлений скважин. Выход керна линейный, по массе или объемный; интервалы с низким выходом керна, избирательное истирание керна, поправочные коэффициенты, выход шлама по массе или объемный при шарошечном или ударном бурении.

Методика и техника геофизических работ – основные результаты, случайные и систематические погрешности геофизических измерений.

Методика опробования буровых скважин и горных выработок, качество опробования, оценка достоверности результатов, наличие систематических погрешностей, поправочные коэффициенты, схема обработки проб. Групповые пробы, методика их составления.

Аналитические работы: объемы, методы проведения основных, контрольных и арбитражных анализов, соответствие их действующим стандартам или другим нормативным документам. Результаты обработки данных контроля, качество анализов,

оценка влияния низкого качества анализов на результаты подсчета запасов (определение мощности, площади рудных тел, содержания и т. п.). Обоснованность предполагаемых поправочных коэффициентов.

Методы и число определений объемной массы для разных типов и сортов полезных ископаемых. Обоснование значений объемной массы, принятых для подсчета запасов.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Основные водоносные горизонты, наиболее обводненные участки и зоны, их взаимосвязь с поверхностными водотоками, химический состав и бактериологическое состояние поверхностных и подземных вод; величина ожидаемых, а также максимально возможных водопритоков в горные выработки. Для россыпных месторождений, предназначенных для дражной отработки – возможность устройства плотин с целью подъема воды.

Источники питьевого и технического водоснабжения горного предприятия, оценка дальнейшего использования подземных вод месторождения для целей водоснабжения или извлечения ценных компонентов, а также их очистки при сбросе в поверхностные водотоки.

Инженерно-геологические особенности пород месторождения – состав, трещиноватость, тектоническая нарушенность, способность полезных ископаемых к самовозгоранию, радиационная характеристика полезного ископаемого и вмещающих горных пород, возможность возникновения оползней, селевых потоков и т. д. При наличии многолетней мерзлоты необходимо выявить глубины распространения и температурный режим.

ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Способ разработки месторождения

Выбор способа разработки месторождения зависит от глубины и условий залегания тел полезных ископаемых и производится с учетом экономико-географических и горно-технологических факторов. Оценке подлежат следующие варианты освоения месторождения:

- открытый способ,
- подземный,
- открытый и подземный (комбинированный),
- геотехнологический.

Применение открытого способа разработки устанавливается с помощью предельного коэффициента вскрыши ($К_в^п$), вычисляемого по формуле:

$$К_в^п = (С_п – С_о) / С_в,$$

где $С_п$ – себестоимость добычи 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $С_о$ – то же при открытых работах без учета затрат на выемку пустых пород; $С_в$ – себестоимость 1 т вскрыши, руб.

При комбинированном способе границу освоения месторождения открытым способом устанавливают исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого открытым и подземным способами.

Система разработки

Выбор системы разработки и ее основных элементов производится исходя из анализа геологических и горнотехнических условий месторождения.

Потери и разубоживание

Их величину следует устанавливают в значениях, характерных для принятой системы разработки с учетом горно-геологических условий месторождения.

Величина потерь обычно составляет:

- 3-7 % при системах отработки с креплением и закладкой очистного пространства;
- 8-20 % с открытым выработанным пространством и магазинированием руды;
- 15-20 % с массовым обрушением;
- 4-6 % при открытом способе разработки.

Величины разубоживания:

- 5-10 % при системах с магазинированием, креплением и закладкой выработанного пространства;
- 15-20 % при системах с массовым обрушением;
- 5-10 % при открытом способе разработки.

Производительность предприятия и продолжительность периода разработки являются важнейшими оценочными показателями, определяющими себестоимость добычи, капитальные вложения в промышленное строительство и сроки строительства предприятия. Устанавливаются в зависимости от запасов месторождения, особенностей геологического строения, горно-технических условий эксплуатации. Если существуют ограничения потребности в данном сырье, особые природоохранные и другие факторы, регламентирующие добычу, то ограничивается и производительность предприятия.

В зависимости от величины эксплуатационных запасов, горно-геологических особенностей месторождения и способа отработки, годовую производительность можно определить, руководствуясь горно-техническими условиями. Порядок ее расчета установлен в нормах технологического проектирования и осуществляется при оценке объекта по результатам разведки в базовых вариантах оконтуривания.

Для расчета годовой производительности по добыче руды при оценке по результатам поисковых и оценочных работ можно использовать метод аналогии или рекомендовать упрощенные методы, отражающие статистическую зависимость между величиной эксплуатационных запасов и средней продолжительностью работы рудника. В этих целях используются табличные материалы, подготовленные ВИЭМС и представленные в методических разработках для практических занятий.

Для расчета эксплуатационных запасов руд ($З_э$) используется следующая формула:

$$З_э = З \cdot (1 - п) / (1 - р),$$

где З – запасы полезного ископаемого в недрах, тыс. т; п – потери при добыче, доли ед., р – разубоживание при добыче, доли ед.

Коэффициент изменения качества руды при добыче (Р) можно рассчитать, допуская отсутствие полезного компонента в засоряющих породах, по формуле:

$$Р = 1 – р.$$

Этот упрощенный метод, предложенный Тэйлором (Хилл, 1999), позволяет рассчитывать годовую производительность как частное от деления эксплуатационных запасов на срок эксплуатации.

Следует подчеркнуть, что рассчитанная тем или иным способом годовая производительность предприятия является проектной и ее достижение требует определенного срока. Применительно к оценочным расчетам в условиях рыночных отношений неучет фактора времени достижения проектной производительности приводит к существенному искажению результатов экономической эффективности освоения месторождения независимо от того, проводится ли оценка по результатам поисковых, оценочных или разведочных работ.

Нужно учитывать также опыт рационального обеспечения запасами горнорудных предприятий:

- на 20-25 лет обычно обеспечиваются запасами рудники и карьеры черной металлургии, а крупные горнодобывающие комбинаты – не менее чем на 40 лет;
- на 30-40 лет – крупные горнорудные предприятия алюминиевой, медной, свинцово-цинковой и никелевой промышленности;
- на 20-30 лет – крупные предприятия по добыче вольфрама, молибдена, олова и др.;
- на 15-20 лет – золоторудные предприятия;
- на 5-10 лет – небольшие предприятия, эксплуатирующие богатые месторождения цветных металлов, золота и ценных видов неметаллического сырья, а также россыпные месторождения благородных и редких металлов, горнодобывающие предприятия химической промышленности и промышленности строительных материалов.

При определении фактического коэффициента вскрыши отстраивают схему освоения месторождения открытым способом. Верхний контур карьера откладывают соответственно результирующему углу наклона бортов карьера. Эти углы зависят от крепости пород (по М. М. Протодьяконову) и глубины карьера. Рекомендуемые значения также приводятся в специальных таблицах, представленных в методических разработках для практических занятий.

Для выполнения расчетов следует:

- вынести на план контуры верхнего и нижнего оснований карьера, а при необходимости и промежуточного контура (на уровне рыхлых отложений);
- определить объем карьера ($V_к$) по формулам:

$$V_к = [(S_в + S_н) / 2] \cdot H \text{ или } V_к = [(S_в + S_н + \sqrt{S_B \cdot S_H}) / 3] \cdot H,$$

где $S_в$ и $S_н$ – площади верхнего и нижнего оснований карьера, м^2; H – глубина карьера, м. Вторая формула применяется, если $S_в > S_н$ на 40 %;

- вычислить объемный коэффициент вскрыши ($K_в$):

$$K_в = (V_к – V_р) / V_р,$$

где $V_к$ – объем карьера, м^3; $V_р$ – объем руды, м^3;

- рассчитать (при необходимости) предельный коэффициент вскрыши ($K_в^п$):

$$K_в^п = (З_п – З_о) / З_в,$$

где $З_п$ – затраты (себестоимость) на добычу 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $З_о$ – то же при открытых работах; $З_в$ – затраты на выемку 1 т вскрышных пород при открытом способе, руб.

Если фактически коэффициент вскрыши меньше предельного ($К_в<К_в^п$), то целесообразен открытый способ разработки месторождения; если отмечена обратная зависимость ($К_в>К_в^п$), то подземный.

Расчет годовой производительности горнодобывающего предприятия во многом определяется горнотехническими условиями отработки и зависит, в первую очередь, от величины эксплуатационных запасов. Таблицы для упрощенного определения годовой производительности также приводятся в методических разработках для лабораторных занятий (Угрюмов, Дворник, 2004; Баранников, Макарова, 2002).

Годовая производительность по руде ($А_р$) может быть также определена по формуле:

$$А_р = З / Т,$$

где $Т$ – срок существования рудника, лет.

Производительность горнодобывающего предприятия по горной массе ($А_{гм}$) определяется по формуле:

$$А_{гм} = А_р \cdot (1+К_в).$$

Для расчета производительности по горной массе также можно воспользоваться эмпирической зависимостью:

$$А_{гм} = 42S – 10^5 \cdot S^2,$$

где S – средняя по глубине горизонтальная площадь проектного карьера.

Расчет годовой производительности по нормам технологического проектирования осуществляется, как правило, в базовых вариантах оконтуривания. В промежуточных вариантах годовую производительность по руде ($А_р$) рассчитывают по формуле:

$$А_р = \sqrt[a+b]{З_э},$$

где $З_э$ – эксплуатационные запасы руды, тыс. т; a, b – числовые коэффициенты, определяемые путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} А_{р1} = \sqrt[a+b]{З_{э2}} \\ А_{р2} = \sqrt[a+b]{З_{э1}} \end{cases}$$

В соответствии с принятой системой разработки и выбранной производительностью в горнотехнической части также рассматриваются: условия воздухо- и водоснабжения, вентиляции, откатки и подъема полезного ископаемого при подземной разработке, транспортировки вскрыши в отвал, а полезного ископаемого на фабрику. С учетом этого выбирается основное оборудование, режим работы предприятия, определяются укрупнено объемы работ по электро-, тепло- и водоснабжению.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Обоснование технологии переработки минерального сырья. Базируется на данных изучения его вещественного состава, структурно-текстурных особенностей, физико-механических и других свойств, на результатах технологических испытаний, а также передового опыта переработки (обогащения) аналогичных видов минерального сырья. При

наличии на месторождении нескольких технологических типов руд, подлежащих раздельной переработке, технология переработки обосновывается для каждого из них.

Объемы и виды технологических исследований. Должны быть достаточны для выбора технологической схемы переработки минерального сырья и обоснования ее основных показателей. К ним относятся качество получаемой товарной продукции, ее выход от исходного минерального сырья, а для рудных месторождений – извлечение основных и попутных компонентов в товарную продукцию в процентах.

В соответствии с выбранной схемой обогащения составляется материальный баланс, согласно которому количество металла, поступившего на обогащение, равно количеству металла, просуммированного по продуктам обогащения. Связь основных показателей обогащения выражается в виде следующей формулы:

$$И_{об} = (В_к \cdot М_к) / М_р,$$

где $И_{об}$ – извлечение при обогащении, %; $В_к$ – выход концентрата, %; $М_к$ и $М_р$ – содержание металла в концентрате и добытой руде, соответственно, %.

При упрощенных расчетах, когда широко используются технико-экономические показатели предприятий-аналогов, коэффициент извлечения металла в концентрат иногда принимают по аналогии. В этом случае может оказаться необходимым обосновать уже другой показатель – выход концентрата (Вк) в тоннах по формуле:

$$В_к = [И_{об} \cdot М_р \cdot (1 - р)] / М_к,$$

где р – показатель разубоживания, доли ед.

При этом расход руды на получение 1 т концентрата (q):

$$q = 1 / В_к.$$

Добытое полезное ископаемое может перерабатываться на вновь построенной на месторождении обогатительной фабрике или на действующих в регионе предприятиях, имеющих свободные мощности или требующих увеличения мощностей по переработке сырья. Выбор местонахождения обогатительной фабрики обосновывается экономическими расчетами.

Производительность обогатительной фабрики по руде в конкретных условиях зависит от масштаба производства снабжающих ее рудников. Как правило, при оценке месторождений она принимается равной годовой производительности предприятия по добыче руды.

При оценке рудных месторождений конечной товарной продукцией обычно является сам металл. Поэтому процесс переработки минерального сырья следует оценивать, включая металлургический передел. Для этого необходимы сведения о технологической схеме переработки концентратов, извлечении полезных компонентов в конечную товарную продукцию, а также перечень выпускаемой конечной товарной продукции по маркам. Эти показатели принимаются по фактическим данным металлургических предприятий, на которых предусматривается переработка концентратов и промпродуктов из руд оцениваемого месторождения.

Сквозное извлечение металла в конечный товарный продукт (И) с учетом металлургического передела:

$$И = И_{об} \cdot И_м,$$

где $И_м$ – извлечение при металлургическом переделе, доли ед.

Изучение поведения попутных компонентов в процессе переработки. Изучается содержание попутных компонентов в продуктах обогащения, баланс распределения каждого попутного компонента по минералам и продуктам.

Определение состава и свойств отходов. Исследуется состав и свойства отходов, возможность их промышленного использования, целесообразность учета количества отдельных видов отходов или утверждение их запасов.

ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Изучение и прогнозирование воздействия результатов геологоразведочных работ, а также разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду, является обязательной составной частью ГЭО (Временное…, 1998). Полученные при этом данные должны способствовать ликвидации их негативных последствий, получению исходных данных, необходимых для комплексного промышленного освоения, а также разработке рационального комплекса природоохранных мероприятий, определению их стоимости на разных стадиях изучения и геолого-экономической оценке месторождений. Результаты отмеченных исследований проходят экологическую экспертизу.

Влияние геологоразведочных работ и промышленного освоения месторождений на окружающую среду многоаспектно. Оно может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, выводе из хозяйственного оборота или снижении продуктивности плодородных земель и других негативных воздействиях. Характер и степень этого влияния в значительной мере обусловлены способом ведения геологоразведочных работ и отработки месторождения, а также составом добываемых и перерабатываемых полезных ископаемых, технологией их обогащения, металлургического и химического передела, степенью очистки отходящих газов и сточных вод.

Предотвращение или нейтрализация отрицательного воздействия освоения месторождения на природную среду возможны только при наличии максимально полной информации о характере объекта и условиях его эксплуатации. Она должна быть получена в процессе разведочных работ и использована для выработки соответствующих проектных решений и природоохранных мероприятий.

Все эти вопросы, разобранные с той или иной степенью достоверности (в зависимости от собранного материала), находят отражение в разрабатываемых ТЭД и ТЭО.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

В данном разделе приводится обоснование величины инвестиций (капитальных вложений и оборотных средств) в освоение месторождения, а также эксплуатационных затрат, связанных с добычей и обогащением полезного ископаемого. Рассчитываются показатели эффективности освоения месторождений, выбирается оптимальный вариант их освоения.

В практике оценки месторождений полезных ископаемых существует два основных метода определения капитальных затрат и производственных (эксплуатационных)

расходов: 1 – прямой расчет и 2 – метод аналогии. *Прямые расчеты* более точны и надежны. Они позволяют учесть все специфические особенности проекта. Однако на ранних стадиях изучения объекта данных для прямого расчета недостаточно, и тогда для предварительной оценки необходимых вложений используется *метод аналогии*, который может применяться в двух модификациях. В первом случае выбирается непосредственный объект-аналог – месторождение того же геолого-промышленного типа, расположенное в том же регионе, близкое по геологическим, горнотехническим и горно-технологическим условиям. Технико-экономические показатели объекта-аналога принимаются за основу для проведения расчетов. Вторая модификация предусматривает оценку необходимых затрат с помощью укрупненных показателей – удельных капиталовложений на разные виды работ. Удельные капвложения – это затраты, отнесенные на единицу объема работ – на 1 т руды, на 1 км строительства дороги, на 1 км проведения ЛЭП и т. д. Удельные показатели определяются отраслевыми институтами – ВИЭМС в Москве, ИГД в Екатеринбурге и др. на основе анализа деятельности профильных предприятий, и позиционируются как соответствующие нормативы.

Обоснование инвестиций в освоение месторождений

Инвестиции включают в себя капитальные вложения на фонды промышленного и непромышленного назначения, а также инвестиции в оборотный капитал.

К *фондам промышленного назначения* относятся рудник с комплексом горно-капитальных выработок, зданий, сооружений и оборудования; обогатительная фабрика с объектами хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения; участок автомобильных дорог и железнодорожных путей от месторождения до существующих путей сообщения; службы энерго-, водо- и теплоснабжения, канализации и т. д. *Непромышленные фонды* – это объекты социального, жилищного и бытового назначения.

1. Капитальные вложения в строительство рудника.

Определяются в соответствии с намеченным способом разработки, исходя из годовой производительности и капитальных удельных вложений на горно-капитальные работы, оборудование, здания и сооружения в соответствии с глубиной разработки и с учетом территориального поправочного коэффициента. Учитываются также затраты на получение лицензий: права на пользование землей и недрами, на определенные виды деятельности; организационные расходы, включая регистрацию предприятия; затраты по компенсации потерь от изъятия земель и другие расходы, связанные со строительством объектов.

Капитальные вложения в строительство карьера, рудника могут быть определены по формуле:

$$K_{\text{р}} = K_{\text{ур}} \cdot A_{\text{р}},$$

где $K_{\text{ур}}$ – удельные капитальные затраты на 1 т годовой производительности по руде или горной массе, руб.; $A_{\text{р}}$ – производительность рудника по руде или горной массе, т/год. Удельные показатели принимаются в соответствии с действующими нормативами, приведенными в методических разработках к лабораторным занятиям.

2. Капитальные вложения в строительство обогатительной фабрики.

Определяются с учетом ее производительности и удельных затрат на 1 т производственных мощностей по переработке минерального сырья, а также территориального поправочного коэффициента.

Для определения капитальных вложений в строительство обогатительной фабрики на основе удельных показателей используется формула:

$$K_{ф} = K_{уд} \cdot A_{ф},$$

где $K_{уд}$ – удельные капвложения на 1 т годовой производительности, руб.; $A_{ф}$ – годовая производительность фабрики.

3. Капитальные вложения в строительство автомобильных и железных дорог, линий электропередач, водоснабжение и прочее также определяются в соответствии с нормативами удельных капитальных вложений на 1 км сооружений, их протяженностью и поправочными коэффициентами, учитывающими район строительства и рельеф местности.

4. Капитальные вложения на предстоящие геологоразведочные работы учитываются, исходя из запасов месторождения, а также из удельных затрат на разведку 1 т руды запасов категорий $A+B+C_1$, и относятся к первому году строительства горнорудного предприятия. Они определяются по данным объектов-аналогов или методом прямого расчета путем составления сметы на проведение геологоразведочных работ.

5. Прочие капитальные вложения в строительство объектов жилищного, коммунального и культурно-бытового назначения определяются исходя из числа трудящихся на горном предприятии и удельных затрат на одного человека при строительстве этих объектов.

6. Общие капитальные затраты ($K_{общ}$) определяются как сумма затрат на строительство рудника (карьера), обогатительной фабрики, затрат на транспорт, строительство линий электропередач, затрат на геологоразведочные работы и прочих.

Прочие капитальные вложения ориентировочно можно принять в размере 10-15 % для малых и средних объектов и 20-25 % для крупных от суммы капитальных затрат на строительство рудника (карьера) и обогатительной фабрики.

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты, связанные с добычей и обогащением полезного ископаемого, состоят из цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов. Они определяют себестоимость продукции горно-обогатительного предприятия. Эксплуатационные затраты также устанавливаются прямым расчетом или с использованием показателей существующих предприятий, разрабатывающих аналогичные месторождения в сходных географо-экономических условиях.

1. Цеховые эксплуатационные затраты

При подземной добыче полезного ископаемого цеховые эксплуатационные затраты определяются с помощью укрупненных нормативных показателей себестоимости добычи руды в зависимости от годовой производительности рудника, глубины разработки, варианта вскрытия и системы добычи.

При открытой добыче цеховые затраты рассчитываются с помощью укрупненных нормативов в зависимости от годовой производительности, типов и размеров основного оборудования, транспортных средств, глубины карьера и коэффициента вскрыши.

Затраты на рекультивацию нарушенных земель, которые входят в цеховые эксплуатационные затраты, определяются исходя из площади нарушенных земель и удельных затрат на рекультивацию 1 га.

Затраты по обогащению полезного ископаемого определяются с помощью укрупненных нормативных показателей цеховой себестоимости в соответствии с намеченной производительностью фабрики, способом обогащения и составом руд.

2. Общекомбинатские расходы зависят от цеховой себестоимости добычи, обогащения и составляют обычно 8-10 % от цеховых расходов.

3. *Внепроизводственные расходы* складываются из цеховых погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки концентрата до линии железной дороги общего пользования. Укрупненно они могут быть приняты в размере 3-5 % от цеховой себестоимости.

Затраты по охране окружающей среды зависят от характера производственной деятельности и местных условий, рассчитываются отдельно и включаются в эксплуатационные затраты.

Общая величина эксплуатационных затрат определяется как сумма цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов, а также затрат по охране среды.

Показатели эффективности освоения месторождения

При оценке эффективности освоения месторождения соизмерение разновременных затрат и показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к базисному моменту времени – началу строительства горнодобывающего предприятия. Это реализуется их умножением на коэффициент дисконтирования:

$$K_{\text{д}} = \frac{1}{(1+\text{E})^{t}},$$

где t – номер расчетного года, начиная от начала строительства горнодобывающего предприятия; E – норма дисконтирования, которая принимается равной приемлемой для инвестора норме дохода или прибыли на капитал (процентная ставка). Эта норма устанавливается на таком уровне, который позволил бы инвестору не только компенсировать риск, но и получить требуемую прибыль. Обычно эта норма при постоянных ценах в горной промышленности колеблется в следующих пределах:

- от 10-12 % при разработке месторождений строительных материалов;
- 15-18 % при разработке месторождений черных и цветных металлов;
- до 20-25 % при разработке месторождений золота.

Кроме того, для учета фактора времени в экономических расчетах применяется коэффициент ежегодной ренты (аннуитета), который определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{а}} = \frac{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} - 1}{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} \text{ x E}}$$

Коэффициенты дисконтирования и аннуитета, рассчитанные для разных значений E и t, приводятся в виде справочных таблиц в методических разработках по практике ГЭО.

Основными показателями экономической эффективности освоения месторождения являются:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности (ИД);
- срок окупаемости капитальных вложений (То);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- рентабельность предприятия по отношению к производственным фондам (Рф);
- рентабельность предприятия по отношению к эксплуатационным затратам (Рэ).

Чистый дисконтированный доход определяется как сумма чистых доходов за весь расчетный период:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right),$$

где t = 1, 2, 3…T – количество лет от начала строительства до ликвидации предприятия; Ц_t – стоимость продукции (выручка) в t-м году, руб.; З_t – эксплуатационные затраты, произведенные в том же году без учета амортизационных отчислений, руб.; K_t – капитальные вложения (инвестиции) в t-м году, руб.; Е – норма дисконтирования.

С использованием соответствующего коэффициента дисконтирования формула несколько упрощается:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot K_{\text{д}}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot K_{\text{д}}\right).$$

Если ЧДД положителен, освоение месторождения эффективно; при отрицательном ЧДД освоение окажется неэффективным как не отвечающее установленной норме дохода.

На начальных стадиях изучения месторождения не представляется возможным определить величину выручки, эксплуатационных затрат и капитальных вложений по отдельным годам. Поэтому величины выручки и затрат принимаются постоянными за все время разработки, а величину капитальных вложений – постоянной за все время строительства. Средняя величина дохода определяется по формуле:

$$\text{Д}_\text{г} = \text{Ц}_\text{г} - \text{З}_\text{г},$$

где $\text{Д}_\text{г}$ – среднегодовой доход; $\text{Ц}_\text{г}$ – среднегодовая стоимость продукции (выручка) за год; $\text{З}_\text{г}$ – среднегодовые эксплуатационные затраты, включая амортизационные отчисления.

Среднегодовой доход с амортизационными отчислениями ($\text{Д}^1_\text{г}$) будет:

$$\text{Д}^1_\text{г} = \text{Д}_\text{г} + \text{А}_\text{о},$$

где $\text{А}_\text{о}$ – амортизационные отчисления.

В этом случае ЧДД определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}\text{ x Е}} - K_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}\text{ x Е}},$$

где $K_\text{г}$ – среднегодовая величина капитальных вложений; $T_\text{э}$ – срок эксплуатации месторождения; $T_\text{с}$ – срок строительства предприятия.

Подставляя коэффициенты дисконтирования и аннуитета, формулу можно значительно упростить:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot K_{\text{аэ}}\cdot K_{\text{дс}} - K_\text{г}\cdot K_{\text{ас}},$$

где $K_{\text{аэ}}$ – коэффициент аннуитета на срок эксплуатации, $K_{\text{дс}}$ – коэффициент дисконтирования на срок строительства, $K_{\text{ас}}$ – коэффициент аннуитета на срок строительства.

Индекс доходности (ИД) показывает, во сколько раз приведенные доходы превышают приведенные капитальные вложения:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_t)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)}$$

Или на начальных этапах изучения месторождения:

$$\text{ИД} = \frac{Д_г^1\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_э}-1}{(1+\text{E})^{T_э}\cdot\text{E}}\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^{T_c}}}{\text{Кг}\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_c}-1}{(1+\text{E})^{T_c}\text{ x E}}}.$$

Или с использованием коэффициентов:

$$\text{ИД} = (Д^1_г \cdot К_{аэ} \cdot К_{дс}) / (К_г \cdot К_{ас}).$$

Разработка месторождения эффективна, если индекс доходности больше 1.

Срок окупаемости капитальных вложений ($T_о$) – временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы уравнивают приведенные капитальные вложения. Срок окупаемости определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{To}\left[(\text{Ц}_t - 3_e)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right] = \sum_{t=1}^{To}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)$$

или на начальных стадиях изучения месторождений

$$T_о = -\frac{\log\left\{1-\frac{K_г}{Д_г^1}[(1+\text{E})^{tc}-1]\right\}}{\log(1+E)}.$$

Логарифмирование производится по любому основанию, так что можно применять как натуральные логарифмы, так и десятичные.

Возможно определение $T_о$ и графическим способом (рис. 49).

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта, при которой величина приведенных доходов уравнивает приведенные капитальные вложения. ВНД определяется из условия (в неявной форме):

$$\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_e)\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения месторождения ВНД определяется из условия:

$$Д^1_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_э}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_э}\cdot\text{ВНД}} = К_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_c}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_c}\cdot\text{ВНД}}$$

Ориентировочная величина ВНД определяется соотношением: ВНД = 75 / $T_о$, %.

На практике часто применяется простой графический способ определения ВНД. Для этого рассчитывается 3 значения ЧДД при разной величине Е и строится график, на котором в выбранном масштабе по вертикальной оси откладываются ЧДД, а по горизонтальной – Е. По трем точкам проводится прямая, которая пересечет горизонтальную ось в точке, соответствующей значению ВНД (рис. 50).

Рентабельность разработки месторождения по отношению к основным производственным фондам ($Р_ф$) вычисляется по формуле:

$$Р_ф = П_ч / Ф \cdot 100\ \%, \text{ или } Р_ф = Д_г / К \cdot 100\ \%,$$

где $П_ч$ – среднегодовая прибыль после уплаты налогов; Ф – стоимость производственных фондов предприятия (основных и оборотных средств); $Д_г$ – среднегодовой доход; $К$ – капитальные вложения в освоение месторождения.

Рентабельность предприятия по отношению к годовым эксплуатационным затратам ($Р_з$) может быть определена по формулам:

$$Р_з = П_ч / З_г \cdot 100\ \% \text{ или } Р_з = Д_г / З_г \cdot 100\ \%,$$

где $З_г$ – годовые затраты, руб.

С учетом, платежей, налогов и отчислений расчет показателей ГЭО осуществляется в следующем порядке.

Величина годовой прибыли ($П_г$) определяется по формуле:

$$П_г = Ц_г – (З_г + Н_э),$$

где $Ц_г$ – среднегодовая стоимость продукции без налога на добавленную стоимость (выручка); $З_г$ – среднегодовые эксплуатационные затраты с учетом амортизационных отчислений; $Н_э$ – величина налогов, платежей, отчислений, учитываемая в структуре эксплуатационных затрат. К ним относятся, в первую очередь, налог на добычу и дорожный налог.

Величина чистой годовой прибыли ($П_ч$) определяется по формуле:

$$П_ч = П_г – Н_п,$$

где $Н_п$ – величина налогов, платежей, отчислений, изымаемая из прибыли. Основную их часть составляют налоги на прибыль и на имущество.

Величина чистой годовой прибыли с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) определяется по формуле:

$$П^1_ч = П_ч + А_о,$$

где $А_о$ – амортизационные отчисления, определяемые в соответствии с действующими нормами амортизации.

При расчетах показателей эффективности используется чистая годовая прибыль с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) за исключением расчета рентабельности ($Р_ф$, $Р_з$), где используется чистая годовая прибыль $П_ч$.

Вычисление показателей экономической эффективности освоения месторождения с учетом существующих налогов, платежей и отчислений осуществляется по формулам:

$$ЧДП = \sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right),$$

$$ИП = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)}$$

$T_о$ определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{To}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] = \sum_{t=1}^{To}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)$$

ВНП определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения используются соответственно следующие формулы:

$$ЧДП = П_ч \cdot \frac{(1+Е)^{Tэ}-1}{(1+Е)^{Tэ} \cdot Е} - K_г \cdot \frac{(1+Е)^{Tс}-1}{(1+Е)^{Tс} \cdot Е} \text{ или}$$

$$ЧДД = П_ч \cdot К_{аэ} – K_г \cdot K_{ас},$$

$$\text{ИП} = \frac{\text{П}^1_\text{ч} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_\text{э}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_\text{э}} \cdot \text{Е}} \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}}}{\text{Кг} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_\text{с}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}} \cdot \text{Е}}}, \text{ или ИП} = \text{П}_\text{ч} \cdot K_\text{аэ} / K_\text{г} \cdot K_\text{ас},$$

$$T_\text{о} = - \frac{\log\left\{1 - \frac{K_\text{г}}{\text{П}^1_\text{ч}}[(1+\text{Е})^{T_\text{с}} - 1]\right\}}{\log(1+E)},$$

ВНП определяется из условия:

$$\text{П}^1_\text{ч} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_\text{э}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_\text{э}} \cdot \text{ВНД}} = K_\text{г} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_\text{с}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_\text{с}} \cdot \text{ВНД}},$$

$$\text{Р}_\text{ф} = \text{П}_\text{ц} / \Phi \cdot 100\ \%,$$

$$\text{Р}_\text{з} = \text{П}_\text{ц} / \text{З}_\text{г} \cdot 100\ \%.$$

Денежный поток при разработке месторождения является дополнительным показателем эффективности освоения. Его составляющими являются приток и отток средств по годам с начала деятельности горного предприятия. Источниками притока средств являются выручка от реализации производственной продукции и реализации остаточных производственных фондов при ликвидации предприятия, сокращение величины оборотных средств. Основными составляющими оттока средств являются эксплуатационные расходы, налоговые выплаты, платежи и отчисления, которые не входят в структуру эксплуатационных затрат, увеличение оборотных средств, отчисления в развитие геологоразведочных работ и т. д. Суммарная разность между притоком и оттоком средств за весь период существования предприятия называется *чистым денежным потоком*. Если величины этого потока приводят к началу разработки месторождения, то суммарная величина этих значения является дисконтированным чистым денежным потоком. При определении денежного потока при разработке месторождения конкретным частным предприятием при оттоке средств, кроме того, учитывается погашение взятого кредита банка на строительство горного предприятия и выплата процентов по этому кредиту.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Обоснование оптимального варианта освоения месторождения осуществляется на основе сопоставления его технико-экономических показателей при разных значениях бортового содержания, а именно: величины запасов полезных компонентов, размера капитальных вложений, эксплуатационных затрат, чистого дисконтированного дохода и т. д. Полный перечень этих показателей, а также пример повариантных технико-экономических расчетов для полиметаллического месторождения приводится в методических разработках для лабораторных занятий по дисциплине «Разведка и ГЭО МПИ».

Ни один из показателей не является достаточным для окончательного вывода о предпочтении того или иного варианта оконтуривания или подсчета запасов. Однако каждый из них должен отвечать заранее обусловленным требованиям инвестора: чистый дисконтированный доход и внутренняя норма доходности должны быть не меньше заранее установленной величины; срок окупаемости капитальных вложений – не более намеченного времени и т. п.

В целом, промышленное значение месторождения определяется экономической эффективностью его разработки. Наряду с этим необходимо учитывать потребность промышленности в данном виде минерального сырья, наличие трудовых ресурсов, а также социальное положение населения в районе расположения объекта, экологическую ситуацию и т. п. Неполное удовлетворение потребности конкретного района в минеральном сырье может служить основанием для предложения о снижении налогов и предоставлении льгот при разработке месторождения.

Контрольные вопросы к теме 5

1. Цели и задачи ГЭО МПИ
2. Геологические показатели ГЭО
3. Горнотехнические показатели ГЭО
4. Технологические показатели ГЭО
5. Обоснование инвестиций в освоение месторождения
6. Определение эксплуатационных затрат при разработке
7. Назначение и применение коэффициента дисконтирования, ставки дисконта, коэффициента аннуитета
8. Основные показатели эффективности освоения месторождения
9. Определение чистого дисконтированного дохода
10. Определение индекса доходности
11. Определение срока окупаемости инвестиций
12. Определение внутренней нормы доходности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Становление учения о разведке недр прошло длинный исторический путь, постепенно накапливая опыт и знания при изучении и оценке различных типов месторождений полезных ископаемых. К настоящему времени *разведка* представляет *самостоятельную научную дисциплину,* имеющую объекты изучения, методологические подходы, геолого-экономическую основу оценки полученных результатов.

Накопленный опыт разведки и геолого-экономической оценки месторождений получил отражение в многочисленных литературных источниках: монографиях, учебниках и учебных пособиях, научных статьях, методических разработках и рекомендациях. Направления совершенствования геологоразведочных работ, обоснованные еще в 80-90-е годы XX столетия, во-многом актуальными и в настоящее время. К числу сформулированных при этом задач следует отнести (Комплексная…, 1990):

- повышение достоверности утверждаемых по результатам разведки запасов;
- обоснование комплексного использования минерального сырья на основе совершенствования рациональной технологии переработки полезных ископаемых;
- совершенствование методов опробования и способов обработки проб;
- повышение уровня изученности вещественного состава и технологических свойств полезного ископаемого;
- повышение роли геофизических и геохимических исследований при оконтуривании залежей полезных ископаемых, изучении их внутреннего строения;
- совершенствование методики разведки и геолого-экономической оценки месторождений на основе обобщения передового отечественного и зарубежного опыта.

В то же время нельзя оперировать только накопленным опытом. С течением времени меняются экономические условия хозяйствования, совершенствуются подходы к оценке промышленной значимости месторождений. В современных условиях необходимо внедрение в геологоразведочный процесс геоинформационных технологий. При этом возможны следующие направления сбора информации и её обобщения:

- перевод накапливаемой геологической информации по месторождениям с бумажных носителей на цифровые;
- создание банка цифровых данных по всем разведанным пересечениям, включающим результаты опробования, аналитических, инженерно-геологических и иных исследований;
- разработка цифровых моделей месторождений, позволяющих на базе 3D моделирования анализировать форму и условия залегания тел полезных ископаемых, пространственное распределение качественных показателей в объеме рудных тел, оценивать роль и значение рудоконтролирующих факторов на прилегающих к месторождению территориях (в пределах рудных районов и узлов);
- производить подсчет запасов и ГЭО, обосновывать кондиции на минеральное сырье, укреплять и стабилизировать добычу минерального сырья требуемого качества на горнорудных предприятиях и т. д.

Все изложенное определяет высокую актуальность подготовки квалифицированных кадров в рамках высшей школы, владеющих не только глубокими геологическими

знаниями, но и современными приемами сбора и обработки накопленной информации с использованием IT-технологий.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

ФТД.01 ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..…3

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ…….……..….6

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…8

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ……..12

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ……...……...….13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……...…..28

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении - это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны - это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе лекций, практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям (в т.ч. подготовка к практико-ориентированным заданиям и др.).

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;

- уровень образования и степень подготовленности студентов;

- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «*Технологии интеллектуального труда*» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «*Технологии интеллектуального труда*» являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);

- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т.ч. ответы на вопросы для самопроверки, подготовка к выполнению практико-ориентированных заданий);

- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Особенности информационных технологий для людей с ограниченными возможностями.

Информационные технологии
Универсальный дизайн
Адаптивные технологии

Тема 2. Тифлотехнические средства/ Сурдотехнические средства/ Адаптивная компьютерная техника (Материал изучается по подгруппам в зависимости от вида ограничений здоровья обучающихся)

Брайлевский дисплей
Брайлевский принтер
Телевизионное увеличивающее устройство
Читающая машина
Экранные лупы
Синтезаторы речи
Ассистивные тифлотехнические средства
Ассистивные сурдотехнические средства
Адаптированная компьютерная техника
Ассистивные технические средства

Тема 3. Дистанционные образовательные технологии

Дистанционные образовательные технологии
Иинформационные объекты

Тема 4. Интеллектуальный труд и его значение в жизни общества

Система образования
Образовательная среда вуза
Интеллектуальный труд
Интеллектуальный ресурс
Интеллектуальный продукт

Тема 5. Развитие интеллекта – основа эффективной познавательной деятельности

Личностный компонент
Мотивационно-потребностный компонент
Интеллектуальный компонент
Организационно-деятельностный компонент
Гигиенический компонент
Эстетический компонент
Общеучебные умения
Саморегуляция

Тема 6. Самообразование и самостоятельная работа студента – ведущая форма умственного труда.

Самообразование
Самостоятельная работа студентов
Технологии интеллектуальной работы
Технологии групповых обсуждений

Тема 7. Технологии работы с информацией студентов с ОВЗ и инвалидов

Традиционные источники информации
Технологии работы с текстами
Технологии поиска, фиксирования, переработки информации
Справочно-поисковый аппарат книги
Техника быстрого чтения
Реферирование
Редактирование
Технология конспектирования
Методы и приемы скоростного конспектирования

Тема 8. Организация научно-исследовательской работы

Доклад
Реферат
Курсовая работа
Выпускная квалификационная работа
Техника подготовки работы
Методика работы над содержанием Презентация

Тема 9. Тайм-менеджмент

Время
Планирования времени
Приемы оптимизации распределения времени

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики– это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным;

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или

введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;
- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;
- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо

стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование –наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;

- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что потребует распознавания объектов;

- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;

2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;

3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;

- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;

- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;

- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

1. В соответствии с опросником «Саморегуляция» (ОС) (модификация методики А.К. Осницкого) оцените свои качества, возможности, отношение к деятельности в протоколе (132 высказывания) по 4-х бальной шкале: 4 балла – да; 3 балла – пожалуй да; 2 балла – пожалуй нет; 1 балл – нет.

Текст опросника

1. Способен за дело приниматься без напоминаний.
2. Планирует, организует свои дела и работу.
3. Умеет выполнить порученное задание.
4. Хорошо анализирует условия.
5. Учитывает возможные трудности.
6. Умеет отделять главное от второстепенного.
7. Чаще всего избирает верный путь решения задачи.
8. Правильно планирует свои занятия и работу.
9. Пытается решить задачи разными способами.
10. Сам справляется с возникающими трудностями.
11. Редко ошибается, умеет оценить правильность действий.
12. Быстро обнаруживает свои ошибки.
13. Быстро находит новый способ решения.
14. Быстро исправляет ошибки.
15. Не повторяет ранее сделанных ошибок.
16. Продумывает свои дела и поступки.
17. Хорошо справляется и с трудными заданиям.
18. Справляется с заданиями без посторонней помощи.
19. Любит порядок.
20. Заранее знает, что будет делать.
21. Аккуратен и последователен.
22. Продумывает, все до мелочей.
23. Ошибается чаще из-за того, что смысл задания целом не понят, хотя все детали продуманы.
24. Старателен, хотя часто не выполняет заданий.
25. Долго готовится, прежде чем приступить к делу.
26. Избегает риска.
27. Сначала обдумывает, потом делает.
28. Решения принимает без колебаний.
29. Уверенный в себе.
30. Действует решительно, настойчив.
31. Предприимчивый, решительный.
32. Активный.
33. Ведущий.
34. Реализует почти все, что планирует.
35. Начатое дело доводит до конца.
36. Предпочитает действовать, а не обсуждать.

37. Обдумывает свои дела и поступки.
38. Анализирует свои ошибки и неудачи.
39. Планирует дела, рассчитывает свои силы.
40. Прислушивается к замечаниям.
41. Редко повторяет одну и ту же ошибку.
42. Знает о своих недостатках.
43. Сделает задание на совесть.
44. Как всегда сделает на отлично.
45. Для него важно качество, а не отметка.
46. Всегда проверяет правильность работы.
47. Старается довести дело до конца.
48. Стирается добиться лучших результатов.
49. Действует самостоятельно, мало советуясь с другими.
50. Предпочитает справляться с трудностями сам.
51. Может принять не зависимое от других решение.
52. Любит перемену в занятиях.
53. Легко переключается с одной работы на другую.
54. Хорошо ориентируется в новых условиях.
55. Аккуратен.
56. Внимателен.
57. Усидчив.
58. С неудачами и ошибками обычно справляется.
59. Неудачи активизируют его.
60. Старается разобраться в причинах неудач.
61. Умеет мобилизовать усилия.
62. Взвешивает все «за» и «против».
63. Старается придерживаться правил.
64. Всегда считается с мнением других.
65. Его нетрудно убедить в чем-то.
66. Прислушивается к замечаниям.
67. Нужно напоминать о том, что необходимо закончить дело.
68. Не планирует, мало организует свои дела, и работу.
69. Не выполняет заданий оттого, что отвлекается.
70. Условия анализирует плохо.
71. Не учитывает возможных трудностей.
72. Не умеет отделять главное от второстепенного.
73. Пути решения выбирает не лучшие.
74. Не умеет планировать работу и занятия.
75. Не пытается решать задачи разными способами.
76. Не может справиться с трудностями без помощи других.
77. Часто допускает ошибки в работе, часто их повторяет.
78. С трудом находит ошибки в своей работе.
79. С трудом находит новые способы решения.
80. С большим трудом и долго исправляет ошибки.

81. Повторяет одни и те же ошибки.
82. Часто поступает необдуманно, импульсивно.
83. С трудными заданиями справляется плохо.
84. Не справляется с заданием без напоминаний и помощи.
85. Не любит порядок.
86. Часто не знает заранее, что ему предстоит делать.
87. Непоследователен и неаккуратен.
88. Ограничивается лишь общими сведениями, общим впечатлением.
89. Ошибается чаще из-за того, что не продуманы мелочи, детали.
90. Не очень старателен, но задания выполняет.
91. Приступает к делу без подготовки.
92. Часто рискует, ищет приключений.
93. Сначала сделает, лотом подумает.
94. Решения принимает после раздумий и колебаний.
95. Часто сомневается в своих силах.
96. Нерешителен, небольшие помехи уже останавливают его.
97. Нерешительный.
98. Вялый, безучастный.
99. Ведомый.
100. Задумывает много, а делает мало.
101. Редко, когда начатое дело доводит до конца.
102. Предпочитает обсуждать, а не действовать.
103. Действует без раздумий, «с ходу».
104. Не анализирует ошибок.
105. Не планирует почти ничего, не рассчитывает своих сил.
106. Не прислушивается к замечаниям.
107. Часто повторяет одну и ту же ошибку.
108. Не хочет знать и исправлять свои недостатки.
109. Сделает «спустя рукава».
110. Сделает как получится.
111. Сделает из-за угрозы получения плохой оценки.
112. Не проверяет правильность результатов своих действий.
113. Часто бросает работу, не доделав ее.
114. Результат неважен – лишь бы поскорее закончить работу.
115. О его трудностях и делах знают почти все.
116. Всегда надеется на друзей, на их помощь.
117. Действует по принципу: как все, так и я!
118. Любит однообразные занятия.
119. С трудом переключается с одной работы на другую.
120. Плохо ориентируется в новых условиях.
121. Неаккуратен.
122. Невнимателен.
123. Неусидчив.
124. Ошибку может исправить, если его успокоить.

125. Неудачи быстро сбивают с толку.
126. Равнодушен к причинам неудач.
127. С трудом мобилизуется на выполнение задания.
128. Поступает необдуманно, импульсивно.
129. Не придерживается правил.
130. Не считается с мнением окружающих.
131. Его трудно убедить в чем-либо.
132. Не прислушивается к замечаниям.

Ключ для обработки и интерпретации данных

В тесте оценивается 132 характеристики саморегуляции. Они разбиты на тройки.

Всего 22 пары противоположных характеристик.

1. Целеполагание - 23. Неустойчивость целей.
2. Моделирование условий - 24. Отсутствие анализа условий.
3. Программирование действий - 25. Спонтанность действий.
4. Оценивание результатов - 26. Ошибки в работе.
5. Коррекции результатов и способ» действий - 27. Повторные ошибки.
6. Обеспеченность регуляции в целом - 28. Импульсивность.
7. Упорядоченность деятельности - 29. Непоследовательность, неаккуратность.
8. Детализация регуляции действий - 30. Поверхностность.
9. Осторожность в действиях - 31. Необдуманность, рискованность.
10. Уверенность в действиях - 32. Неуверенность в своих силах.
11. Инициативность в действиях - 33. Нерешительность.
12. Практическая реализуемость намерений - 34. Незавершенность дел.
13. Осознанность действий - 35. Действия наобум.
14. Критичность в делах и поступках -36. Равнодушие к недостаткам.
15. Ориентированность на оценочный балл -37. Попустительство.
16. Ответственность в делах и поступках - 38. Безответственность в делах.
17. Автономность - 39. Зависимость в действиях.
18. Гибкость, пластичность в действиях - 40. Инертность в работе.
19. Вовлечение полезных привычек в регуляцию действий - 41. «Плохиш».
20. Практичность, устойчивость в регуляции действий - 42. Равнодушие к ошибкам, неудачам.
21. Оптимальность (адекватность) регуляции усилий - 43. Отсутствие последовательности.
22. Податливость воспитательным воздействиям - 44. Самодостаточность.

Необходимо найти сумму в каждой из троек характеристик и сопоставить ее с их противоположностью.

4-6 баллов - слабое проявление характеристики.

7-9 баллов - ситуативное проявление.

10-12 баллов - выраженность характеристики.

Бланк для ответов

ФИ_____
Пол_____ Возраст (дата рождения)_____ Гр._____ Дата_____ № ___

Шкала ответов

4 – да; 3 – пожалуй да; 2 – пожалуй нет; 1 – нет.

№			S		№		S
1	1			23	67		
	2				68		
	3				69		
2	4			24	70		
	5				71		
	6				72		
3	7			25	73		
	8				74		
	9				75		
4	10			26	76		
	11				77		
	12				78		
5	13			27	79		
	14				80		
	15				81		
6	16			28	82		
	17				83		
	18				84		
7	19			29	85		
	20				86		
	21				87		
8	22			30	88		
	23				89		
	24				90		
9	25			31	91		
	26				92		
	27				93		

10	28			32	94	
	29				95	
	30				96	
11	31			33	97	
	32				98	
	33				99	
12	34			34	100	
	35				101	
	36				102	
13	37			35	103	
	38				104	
	39				105	
14	40			36	106	
	41				107	
	42				108	
15	43			37	109	
	44				ПО	
	45				111	
16	46			38	112	
	47				113	
	48				114	
17	49			39	115	
	50				116	
	51				117	
18	52			40	118	
	53				119	
	54				120	
19	55			41	121	
	56				122	
	57				123	
20	58			42	124	
	59				125	
	60				126	

21	61			43	127	
	62				128	
	63				129	
22	64			44	130	
	65				131	
	66				132	

Качественные характеристики саморегуляции

№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции		№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции
1	Целеполагание	За дело приниматься без напоминаний, планирует, организует свои дела и работу. Задания и поручения выполняет.		23	Неустойчивость целей	Не планирует, мало организует свою работу. Нужно напоминать о том, что необходимо закончить дело. Отвлекается.
2	Моделирование условий	Анализирует условия предстоящей деятельности, возможные трудности. Выделяет главное.		24	Отсутствие анализа условий	Не умеет отделять главное от второстепенного. Не предвидит ход дел, возможные трудности.
3	Программирование действий	Правильно планирует свои занятия и работу, избирает верный путь решения задачи.		25	Спонтанность действий	Не умеет планировать работу в занятия, затрудняется в выборе путей решения задач.
4	Оценивание результатов	Редко ошибается, умеет оценить правильность действий. Быстро обнаруживает свои ошибки.		26	Ошибки в работе	Часто допускает ошибки в работе, часто их повторяет. Не находит ошибок в своей работе.
5	Коррекция результатов и способов действий	Быстро находит новый способ решения. Быстро исправляет ошибки.		27	Повторные ошибки	С трудом находит новые способы решения. Повторяет одни и те же ошибки.
6	Обеспеченность регуляции в целом	Продумывает свои дела и поступки. Справляется с за-		28	Импульсивность	Часто поступает необдуманно, импульсивно. С трудными заданиями справляется плохо.

№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции	№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции
		даниями без посторонней помощи.			
7	Упорядоченность деятельности	Любит порядок. Аккуратен и последователен.	29	Непоследовательность	Часто не знает заранее, что ему предстоит делать, непоследователен и неаккуратен.
8	Детализация регуляции действий	Продумывает, все до мелочей. Ошибается чаще из-за того, что смысл задания целом не понят, хотя все детали продуманы.	30	Поверхностность	Ограничивается лишь общими сведениями, общим впечатлением. Ошибается чаще из-за того, что не продуманы мелочи, детали.
9	Осторожность в действиях	Долго обдумывает и готовится, прежде чем приступить к делу. Избегает риска.	31	Необдуманность, рискованность	Приступает к делу без подготовки. Сначала сделает, лотом подумает.
10	Уверенность в действиях	Уверенный в себе. Решения принимает без колебаний. Решителен. Настойчив.	32	Неуверенность в своих силах	Решения принимает после колебаний. Сомневается в своих силах. Нерешителен.
11	Инициативен в действиях.	Предприимчивый, решительный. Активный. Ведущий.	33	Нерешительность	Нерешительный. Вялый, безучастный. Ведомый.
12	Практическая реализуемость намерений	Реализует почти все, что планирует. Начатое дело доводит до конца.	34	Незавершенность дел	Редко, когда начатое дело доводит до конца. Предпочитает обсуждать, а не действовать.
13	Осознанность действий	Обдумывает, планирует свои дела и поступки. Анализирует свои ошибки и неудачи.	35	Действия наобум	Действует без раздумий, «с ходу», не рассчитывает своих сил.
14	Критичность в делах и поступках	Знает о своих недостатках. Редко повторяет	36	Равнодушие к недостаткам	Часто повторяет одну и ту же ошибку. Не хочет

№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции		№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции
		ошибки. Прислушивается к замечаниям.				знать и исправлять свои недостатки.
15	Ориентированность на оценочный балл	Сделает задание на совесть. Для него важно качество, а не отметка.		37	Попустительство	Делает все «спустя рукава», как получится. Делает из-за угрозы плохой оценки.
16	Ответственность в делах и поступках	Гарантирует доведение дел до конца. Всегда проверяет правильность работы.		38	Безответственность в делах	Не проверяет результатов своих действий. Часто бросает работу, не доделав до конца.
17	Автономность	Действует и принимает самостоятельные решения. Предпочитает сам справляться с трудностями.		39	Зависимость в действиях	Всегда надеется на друзей, на их помощь.
18	Гибкость, пластичность в действиях	Легко переключается с одной работы на другую. Хорошо ориентируется в новых условиях.		40	Инертность в работе	Любит однообразные занятия. С трудом переключается с одной работы на другую.
19	Вовлечение полезных привычек в регуляцию действий	Аккуратен. Внимателен. Усидчив.		41	«Плохиш»	Неаккуратен. Невнимателен. Неусидчив.
20	Практичность, устойчивость в регуляции действий	Справляется с неудачами и ошибками. Неудачи активизируют его. Старается разобраться в их причинах.		42	Равнодушие к ошибкам, неудачам	Неудачи быстро сбивают с толку. Равнодушен к их причинам.
21	Оптимальность (адекватность) регуляции усилий	Взвешивает все «за» и «против». Умеет мобилизовать усилия.		43	Отсутствие последовательности	Поступает необдуманно. С трудом мобилизуется на выполнение задания.
22	Податливость воспитательным воздействиям	Всегда считается с мнением других. Прислушивается к замечаниям.		44	Самодостаточность	Не считается с мнением окружающих. Не прислушивается к замечаниям.

Задание: На основе самодиагностики саморегуляции сформулируйте рекомендации по саморегуляции.

2. Выберите научную статью по своей специальности и напишите к ней аннотацию, реферат, конспект, рецензию.

Методические указания

АННОТАЦИЯ (от лат. annotatio - замечание, пометка) – это краткая характеристика статьи, рукописи, книги, в которой обозначены тема, проблематика и назначение издания, а также содержатся сведения об авторе и элементы оценки книги.

Перед текстом аннотации даются выходные данные (автор, название, место и время издания). Эти данные можно включить в первую часть аннотации.

Аннотация обычно состоит из двух частей. В первой части формулируется основная тема книги, статьи; во второй части перечисляются (называются) основные положения. Говоря схематично, аннотация на книгу (прежде всего научную или учебную) отвечает на вопросы о чем? из каких частей? как? для кого? Это ее основные, стандартные смысловые элементы. Каждый из них имеет свои языковые средства выражения.

Аннотация на книгу помещается на оборотной стороне ее титульного листа и служит (наряду с ее названием и оглавлением) источником информации о содержании работы. Познакомившись с аннотацией, читатель решает, насколько книга может быть ему нужна. Кроме того, умение аннотировать прочитанную литературу помогает овладению навыками реферирования.

Языковые стереотипы, с помощью которых оформляется каждая смысловая часть аннотации:

1. Характеристика содержания текста:

В статье (книге) рассматривается…; Статья посвящена…; В статье даются…; Автор останавливается на следующих вопросах…; Автор затрагивает проблемы…; Цель автора – объяснить (раскрыть)…; Автор ставит своей целью проанализировать…;

2. Композиция работы:

Книга состоит из … глав (частей)…; Статья делится на … части; В книге выделяются … главы.

3. Назначение текста:

Статья предназначена (для кого; рекомендуется кому)…; Сборник рассчитан…; Предназначается широкому кругу читателей…; Для студентов, аспирантов…; Книга заинтересует…

РЕФЕРАТ (от лат.referre- докладывать, сообщать) – это композиционно организованное, обобщенное изложение содержания источника информации (статьи, ряда статей, монографии и др.). Реферат отвечает на вопрос: «Какая информация содержится в первоисточнике, что излагается в нем?»

Реферат состоит из трех частей: общая характеристика текста (выходные данные, формулировка темы); описание основного содержания; выводы референта. Изложение одной работы обычно содержит указание на тему и композицию реферируемой работы, перечень ее основных положений с приведением аргументации, реже - описание методики и проведение эксперимента, результатов и выводов исследования. Такой реферат называется простым информационным.

Студенты в российских вузах пишут рефераты обычно на определенные темы. Для написания таких тематических рефератов может быть необходимо привлечение более чем одного источника, по крайней мере двух научных работ. В этом случае реферат является не только информационным, но и обзорным.

Реферирование представляет собой интеллектуальный творческий процесс, включающий осмысление текста, аналитико-синтетичесокое преобразование информации и создание нового текста. Реферат не должен превращаться в «ползанье» по тексту. Цель реферирования – создать «текст о тексте». Реферат – это не конспект, разбавленный «скрепами» типа *далее автор отмечает…* Обильное цитирование превращает реферат в конспект. При чтении научного труда важно понять его построение, выделить смысловые части (они будут основой для плана), обратить внимание на типичные языковые средства (словосочетания, вводные конструкции), характерные для каждой части. В реферате должны быть раскрыты проблемы и основные положения работы, приведены доказательства этих положений и указаны выводы, к которым пришел автор. Реферат может содержать оценочные элементы, например: *нельзя не согласиться, автор удачно иллюстрирует* и др. Обратите внимание, что в аннотации проблемы научного труда лишь обозначаются, а в реферате - раскрываются.

Список конструкций для реферативного изложения**:**

Предлагаемая вниманию читателей статья (книга, монография) представляет собой детальное (общее) изложение вопросов…; Рассматриваемая статья посвящена теме (проблеме, вопросу…);

Актуальность рассматриваемой проблемы, по словам автора, определяется тем, что…; Тема статьи (вопросы, рассматриваемые в статье) представляет большой интерес…; В начале статьи автор дает обоснование актуальности темы (проблемы, вопроса, идеи); Затем дается характеристика целей и задач исследования (статьи);

Рассматриваемая статья состоит из двух (трех) частей…; Автор дает определение (сравнительную характеристику, обзор, анализ)…; Затем автор останавливается на таких проблемах, как…; Автор подробно останавливается на истории возникновения (зарождения, появления, становления)…; Автор подробно (кратко) описывает (классифицирует, характеризует) факты…; Автор доказывает справедливость (опровергает что-либо)…; Автор приводит доказательства справедливости своей точки зрения…; В статье дается обобщение…, приводятся хорошо аргументированные доказательства…;

В заключение автор говорит о том, что…; Несомненный интерес представляют выводы автора о том, что…; Наиболее важными из выводов автора представляются следующие…; Изложенные (рассмотренные) в статье вопросы (проблемы) представляют интерес не только для…, но и для…

КОНСПЕКТИРОВАНИЕ – письменная фиксация основных положений читаемого или воспринимаемого на слух текста. При конспектировании происходит свертывание, компрессия первичного текста.

КОНСПЕКТ- это краткое, но связное и последовательное изложение значимого содержания статьи, лекции, главы книги, учебника, брошюры. Запись-

конспект позволяет восстановить, развернуть с необходимой полнотой исходную информацию, поэтому при конспектировании надо отбирать новый и важный материал и выстраивать его в соответствии с логикой изложения. В конспект заносят основные (существенные) положения, а также фактический материал (цифры, цитаты, примеры). В конспекте последующая мысль должна вытекать из предыдущей (как в плане и в тезисах). Части конспекта должны быть связаны внутренней логикой, поэтому важно отразить в конспекте главную мысль каждого абзаца. Содержание абзаца (главная мысль) может быть передано словами автора статьи (возможно сокращение высказывания) или может быть изложено своими словами более обобщенно. При конспектировании пользуются и тем и другим приемом, но важно передать самые главные положения автора без малейшего искажения смысла.

Различают несколько видов конспектов в зависимости от степени свернутости первичного текста, от формы представления основной информации:

1. конспект-план;
2. конспект-схема;
3. текстуальный конспект.

Подготовка конспекта включает следующие этапы:

1. Вся информация, относящаяся к одной теме, собирается в один блок – так выделяются смысловые части.

2. В каждой смысловой части формулируется тема в опоре на ключевые слова и фразы.

3. В каждой части выделяется главная и дополнительная по отношению к теме информация.

4. Главная информация фиксируется в конспекте в разных формах: в виде тезисов (кратко сформулированных основных положений статьи, доклада), выписок (текстуальный конспект), в виде вопросов, выявляющих суть проблемы, в виде назывных предложений (конспект-план и конспект-схема).

5. Дополнительная информация приводится при необходимости.

РЕЦЕНЗИЯ - это письменный критический разбор какого-либо произведения, предполагающий, во-первых, комментирование основных положений (толкование авторской мысли; собственное дополнение к мысли, высказанной автором; выражение своего отношения к постановке проблемы и т.п.); во-вторых, обобщенную аргументированную оценку, в третьих, выводы о значимости работы.

В отличие от рецензии ОТЗЫВ дает самую общую характеристику работы без подробного анализа, но содержит практические рекомендации: анализируемый текст может быть принят к работе в издательстве илина соискание ученой степени.

Типовой план для написания рецензии и отзывов:

1. Предмет анализа: *В работе автора…; В рецензируемой работе…; В предмете ана*лиза…

2. Актуальность темы: Работа посвящена актуальной теме…; Актуальность темы обусловлена…; Актуальность темы не вызывает сомнений (вполне очевидна)…

3. Формулировака основного тезиса: Центральным вопросом работы, где автор добился наиболее существенных (заметных, ощутимых) результатов, является…; В работе обоснованно на первый план выдвигается вопрос о…

4. Краткое содержание работы.

5. Общая оценка: Оценивая работу в целом…; Таким образом, рассматриваемая работа…; Автор проявил умение разбираться в…; систематизировал материал и обобщил его…; Безусловной заслугой автора является новый методический подход (предложенная классификация, некоторые уточнения существующих понятий); Автор, безусловно, углубляет наше представление об исследуемом явлении, вскрывает новые его черты…

6. Недостатки, недочеты: Вместе с тем вызывает сомнение тезис о том…; К недостаткам (недочетам) работы следует отнести допущенные автором длинноты в изложении (недостаточную ясность при изложении)…; Работа построена нерационально, следовало бы сократить…; Существенным недостатком работы является…; Отмеченные недостатки носят чисто локальный характер и не влияют на конечные результаты работы…; Отмеченные недочеты работы не снижают ее высокого уровня, их скорее можно считать пожеланиями к дальнейшей работе автора…; Упомянутые недостатки связаны не столько с…, сколько с…

7. Выводы: Представляется, что в целом работа… имеет важное значение…; Работа может быть оценена положительно, а ее автор заслуживает…; Работа заслуживает высокой (положительной, отличной) оценки…; Работа удовлетворяет всем требованиям…, а ее автор, безусловно, имеет (определенное, законное, заслуженное, безусловное) право…

Задание

а) Выберите научную статью по своей специальности и напишите к ней аннотацию, реферат, конспект, рецензию.

3. Проанализируйте отрывок из студенческой курсовой работы, посвященной проблеме связи заголовка и текста. Соответствует ли язык сочинения нормам научного стиля? На основании анализа проведите правку текста:

Заголовок, будучи неотъемлемой частью газетных публикаций, определяет лицо всей газеты. Сталкиваясь с тем или иным периодическим изданием, читатель получает первую информацию о нем именно из заголовков. На примере газеты «Спорт – экспресс» за апрель – май 1994 г. я рассмотрю связь: заголовок – текст, ведь, как говорится в народной мудрости «встречают по одежке, а провожают – по уму». Но даже при наличии прекрасной одежки (заглавий) и величайшего ума (самих материалов) стилистическая концепция газеты будет не полной, если будет отсутствовать продуманная и логичная связь между содержанием и заголовком. Итак, стараясь выбрать наиболее продуманные заглавия, я попытаюсь проследить за тем, по какому принципу строится связь между содержанием

и заголовком самой популярной спортивной газеты России «Спорт – экспресс». А к тому же я остановлюсь и на классификации заголовков по типу их связей с газетным текстом вообще.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*Технологии интеллектуального труда*» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «*Технологии интеллектуального труда*».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

ФТД.02 СРЕДСТВА КОММУНИКАЦИИ В УЧЕБНОЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……..…3

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ……..…..….6

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ…….…..…8

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ……12

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ……...…….….14

ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТА……...….36

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..…..45

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении - это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны - это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе лекций, практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям (в т.ч. подготовка к практико-ориентированным заданиям и др.).

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;

- уровень образования и степень подготовленности студентов;

- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*» являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);

- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т.ч. подготовка к выполнению практико-ориентированных заданий, подготовка реферата);

- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Сущность коммуникации в разных социальных сферах. Основные функции и виды коммуникации

Коммуникации
Межличностное общение
Речевые способности
Профессиональное общение

Тема 2. Специфика вербальной и невербальной коммуникации

Вербальная коммуникация
Невербальная коммуникация

Тема 3. Эффективное общение

Эффективное общение
Обратная связь
Стиль слушания

Тема 4. Основные коммуникативные барьеры и пути их преодоления в межличностном общении. Стили поведения в конфликтной ситуации

Конфликт
Барьер речи

Тема 5. Виды и формы взаимодействия студентов в условиях образовательной организации

Группа
Коллектив
Групповое давление
Феномен группомыслия
Феномен подчинения авторитету
Обособление
Диктат
Подчинение
Вызов
Выгода
Соперничество
Сотрудничество
Взаимодействие
Взаимопонимание

Тема 6. Формы, методы, технологии самопрезентации

Самопрезенгация
Публичное выступление

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики– это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным;

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или

введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;
- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;
- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует

излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование –наиболеесложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;
- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что потребует распознавания объектов;

- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;
2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;
3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;
- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;
- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;
- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Организуйте коллективную сетевую деятельность.

Методические указания:

Под организацией **коллективной сетевой деятельности** понимают совместные действия нескольких пользователей в сети электронных коммуникаций, направленные на получение информации. Участники совместной сетевой деятельности могут быть объединены общими целями, интересами, что позволяет им обмениваться мнениями, суждениями, а также совершать действия с различными объектами, такими как фотографии, программы, записи, статьи, представленными в цифровом виде.

Подобное взаимодействие может заключаться в различных его видах, таких как:

- - общение;
- - обмен данными;
- - организация трудовой деятельности;
- - совместное времяпрепровождение за сетевыми развлечениями.

Рассмотрим каждый из них. Одним из примеров организации **общения** в сети Интернет могут служить популярные на сегодняшний день сообщества **Livejournal** (www.livejoumal.ru), **Facebook** (www.facebook.com), **Twitter** (http://twitter.com) и др.

По своей сути это социальные сети, которые работают в режиме реального времени, позволяя участникам взаимодействовать друг с другом. Так, социальная сеть Livejournal (Живой журнал) предоставляет возможность публиковать свои и комментировать чужие записи, вести коллективные блоги («сообщества»), получать оперативную информацию, хранить фотографии и видеоролики, добавлять в друзья других пользователей и следить за их записями в «ленте друзей» и др.

Facebook позволяет создать профиль с фотографией и информацией о себе, приглашать друзей, обмениваться с ними сообщениями, изменять свой статус, оставлять сообщения на своей и чужой «стенах», загружать фотографии и видеозаписи, создавать группы (сообщества по интересам).

Система Twitter позволяет пользователям отправлять короткие текстовые заметки, используя web-интерфейс, sms-сообщения, средства мгновенного обмена сообщениями (например, Windows Live Messenger), сторонние программы-клиенты. Отличительной особенностью Твиттера является публичная доступность размещенных сообщений, что роднит его с **блогами** (онлайн-дневник, содержимое которого, представляет собой регулярно обновляемые записи — **посты).**

Другим способом общения, безусловно, является **электронная почта.** Принципы создания ящика электронной почты подробно рассматривались в практикуме параграфа 2.12. При всех своих плюсах электронная почта не позволяет организовать двусторонний оперативный диалог, максимально приближенный к обычному разговору. Отправив письмо, человек уверен, что оно оперативно будет доставлено в ящик адресата, но будет ли получен быстрый ответ? Кроме того, переписка может растянуться, что сводит к минимуму решение возможных актуальных проблем человека в настоящий момент времени.

Именно поэтому возникла необходимость в самостоятельном классе программ, которые выполняли бы две основные задачи:

- 1. Показать, находится ли собеседник в данный момент в сети Интернет, готов ли он общаться.
- 2. Отправить собеседнику короткое сообщение и тут же получить от него ответ.

Такие программы получили название IMS (англ. Instant Messengers Service — служба мгновенных сообщений). Часто такие программы называют **интернет-пейджерами.** В качестве примера подобных программ можно привести Windows Live Messenger, Yahoo!Messenger, ICQ.

Так, программа Windows Live Messenger является одним из компонентов Windows Live — набора сетевых служб от компании Microsoft. Ранее мы познакомились с такими его модулями, как Семейная безопасность и Киностудия. Доступ к Messenger можно получить по адресу http://download.ru.msn.com/ wl/messenger, либо через кнопку **Пуск** на своем персональном компьютере (предварительно установив основные компоненты службы Windows Live).

В настоящее время произошла интеграция Messenger и программы Skype, функции которой будут рассмотрены позже.

Чтобы начать «разговор», достаточно выполнить двойной щелчок мыши на имени собеседника и ввести сообщение в соответствующее окно. Если друга нет на месте, можно оставить ему сообщение, и он увидит его, когда снова войдет в программу.

Коммуникацию в реальном масштабе времени возможно осуществить с помощью **чатов** (англ. Chatter — болтать). Если ваш компьютер оснащен видеокамерой, вы сможете начать видеочат. Одной из наиболее интересных особенностей видео- чата в Messenger является то, что он позволяет делать через Интернет все, что ранее можно было делать только при личном общении. Например, можно легко обмениваться фотографиями и видеть, как собеседник реагирует на них.

Теперь рассмотрим, каким образом можно организовать коллективную сетевую деятельность, связанную с **обменом данными.** Сразу отметим, что для передачи или открытия доступа к файлам в локальной сети используются стандартные возможности операционной системы компьютера. Для этого достаточно в настройках определенной директории открыть общий доступ на чтение или запись другими пользователями сети.

В настоящее время популярнейшим способом обмена данными является размещение файлов на различных видеохостингах и в социальных сетях. **Хостинг** — это услуга по предоставлению вычислительных мощностей для размещения информации на сервере, постоянно находящемся в сети Интернет. Для размещения видеофайлов, как правило, используются такие крупные видеохос- тинги, как YouTube (www.youtube.com), Rutube (http://mtube.ru). Социальные сети, например Одноклассники (www.odnoklassniki.rn), ВКонтакте (http://vk.com) и др., также можно использовать для размещения видеофотоматериалов.

Хранение, обмен файлов возможно организовать и с помощью облачных сервисов, таких как Яндекс.Диск, SkyDrive, iCloud и т.д. Перечислим ряд достоинств подобного способа организации работы:

- не требуется денежных вложений - сервисы бесплатны;
- возможность резервного хранения данных;
- доступность информации из любой точки мира с разных устройств, подключенных к Интернету;
- пользователь самостоятельно определяет доступность к файлам другим людям;
- большой размер облачного хранилища (7-10 Гб);
- информация не привязана к одному компьютеру;
- доступ к файлам, хранящимся на устройствах с разными аппаратными платформами (Windows, Android, iOS).

В качестве примера рассмотрим работу с программой Яндекс.Диск, которую предварительно следует установить на свой компьютер с адреса http://disk. yandex.ru/download. После инсталляции программы на вашем устройстве создается папка Яндекс.Диск, в которой будет находиться ряд папок, таких как Документы, Музыка, Корзина. Теперь, после того как мы добавим, изменим или удалим файл в папке Яндекс.Диск на своем компьютере, то же самое автоматически произойдет на серверах Яндекс, т. е. происходит процесс синхронизации.

Поделиться файлом с друзьями через web-интерфейс можно, выполнив следующие действия:

1. Зайти в свой почтовый ящик на сервисе Яндекс.

2. Выполнив команду **Файлы/Документы,** выделить нужный файл из списка.

3. Установить переключатель на панели предпросмотра в положение **Публичный** и нажать на одну из кнопок, расположенных ниже, что гарантирует публикацию ссылки на файл в одной из социальных сетей (ВКонтакте, Facebook и т.д.) либо отправку по электронной почте (рис. 1).



Рис. 1. Ссылка на файл

Другой возможностью публикации ссылки на файл - получение ее через ОС Windows. В этом случае порядок действий следующий:

- 1. Открыть папку Яндекс.Диск.
- 2. Выполнить щелчок правой кнопкой мыши на нужном файле.
- 3. В контекстном меню выбрать пункт **Яндекс.Диск: Скопировать публичную ссылку.**

Теперь в буфере обмена находится ссылка на файл, например, http://yadi.Sk/d/91nV8FjiOYnX, с которой вы можете поделиться со своими друзьями.

Перейдем к описанию организации **трудовой деятельности** как способа совместного сетевого взаимодействия. Она может выглядеть самой разной, от простого общения в видеоконференциях, заканчивая использованием серьезных корпоративных решений для управления рабочим процессом в компании. Примерами таких решений являются:

1. 1С-Битрикс: Корпоративный Портал (http://www.lc-bitrix.ru/products/

intranet/) — система управления внутренним информационным ресурсом компании для коллективной работы над задачами, проектами и документами.

2. Мегаплан (www.megaplan.ru) — онлайн-сервис для управления бизнесом.

3. TeamLab (www.teamlab.com/ru) — многофункциональный онлайн-сервис для совместной работы, управления документами и проектами.

4. BaseCamp (http://basecamp.com) — онлайн-инструмент для управления проектами, совместной работы и постановки задач по проектам.

Рассмотрим эти решения на примере облачного сервиса **Мегаплан,** который относится к **модели SaaS** (англ. Software as a service — программное обеспечение как услуга). В рамках модели SaaS заказчики платят не за владение программным обеспечением как таковым, а за его аренду (т. е. за его использование через web-интерфейс). Таким образом, в отличие от классической схемы лицензирования программного обеспечения заказчик несет сравнительно небольшие периодические затраты (от 150 до 400 руб./мес.), и ему не требуется инвестировать значительные средства в приобретение ПО и аппаратной платформы для его развертывания, а затем поддерживать его работоспособность.

Используя на предприятии Мегаплан, можно получить множество современных эффективных средств управления персоналом компании, в частности:

- выстроить иерархическую структуру предприятия, прояснить уровни подчинения, сделать связи сотрудников внутри предприятия логичными и понятными каждому;

- система управления персоналом на предприятии позволит каждому руководителю контролировать деятельность своих подчиненных в режиме реального времени. Кроме того,

можно получать актуальную информацию, даже не находясь в офисе — для этого достаточно иметь доступ в Интернет;

- получить возможность обмениваться документами, выкладывать в общий доступ бизнес-планы, презентации, проекты и распоряжения, ускоряя обмен информацией внутри предприятия;

- системы обмена сообщениями и корпоративный форум делают общение, как деловое, так и личное, более живым и эффективным. Кроме того, выоказывания по ходу исполнения задачи, зафиксированные в Мегаплане, позволяют анализировать ход работы над проектом.

Зарегистрировавшись на вышеуказанном сайте, вы получите бесплатный доступ для знакомства с сервисом Мегаплан. Из трех решений предлагаемых компанией, а именно Совместная работа, Учет клиентов и Бизнес-менеджер, выберите первое — **Совместная работа.** Такой выбор дает возможность эффективно управлять проектами, задачами и людьми. Выбрав модуль **Сотрудники,** добавьте несколько сотрудников, заполнив их личные карточки. Много информации в карточки заносить необязательно, их всегда можно отредактировать, при этом не забывая нажимать на кнопку **Сохранить.** Заполненный модуль **Сотрудники** представлен на рис. 2.



Рис. 2. Модуль Сотрудники

Заполнив базу сотрудников, отметив все необходимые сведения в картотеке, вы получаете автоматизированную систему управления персоналом компании, которая более оперативно, чем любой менеджер по кадрам, будет оповещать вас обо всех изменениях, напоминать о днях рождения, давать доступ к картотеке и персональным сообщениям.

Теперь создайте отделы своей виртуальной организации. Для этого, находясь в модуле **Сотрудники,** выберите блок **Структура,** а в нем ссылку **Добавить отдел.** Чтобы добавить сотрудника в отдел, его надо перетащить мышью из списка **Нераспределенные.** После этого следует установить связь «Начальник-Подчиненный», используя ссылки **Начальники, Подчиненные.** Подобная ситуация представлена на рис. 3.

Красные стрелки на схеме обозначают вашу подчиненность, а зеленые — сотрудники подчиняются вам.

Для того чтобы организовать взаимодействие в команде, выберите модуль **Задачи** и поставьте перед каждым сотрудником задачу, указав сроки ее выполнения. Сотрудник может принять или отклонить задачу, делегировать ее своему подчиненному, комментировать задачу, оперировать списком своих задач (распечатывать, сортировать по признакам). Он может даже провалить задачу — и это немедленно станет известно всем, кто с ней связан.

Используя модуль **Документы,** попробуйте создать несколько текстовых документов (их объем не может превышать 300 Мб). Также имеется возможность импортировать имеющиеся документы, которые Мегаплан будет сортировать по типам: текстовые документы, презентации, PDF-файлы, таблицы, изображения и др. Таким образом, можно хранить общие для всей компании договоры, банки, анкеты и другие важные файлы.

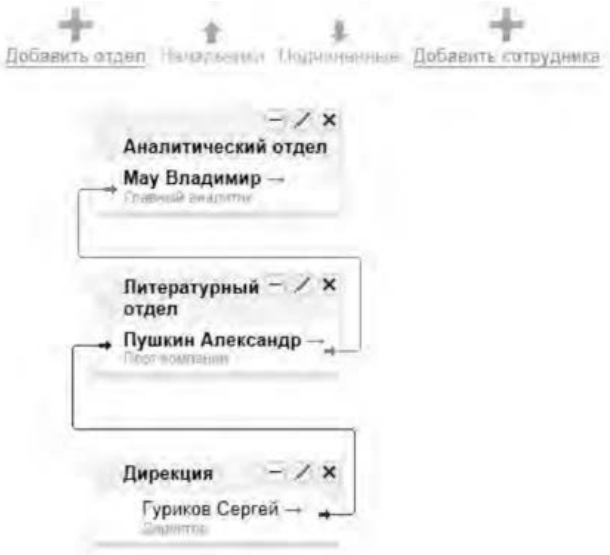


Рис. 3 Организационная структура предприятия

Модуль **Обсуждение** представляет собой корпоративный форум, в рамках которого можно рассматривать любые вопросы. Обсуждение тем может происходить в нескольких уже созданных разделах, а именно Новости, Отдых, Работа. Подобная ситуация представлена на рис. 4.

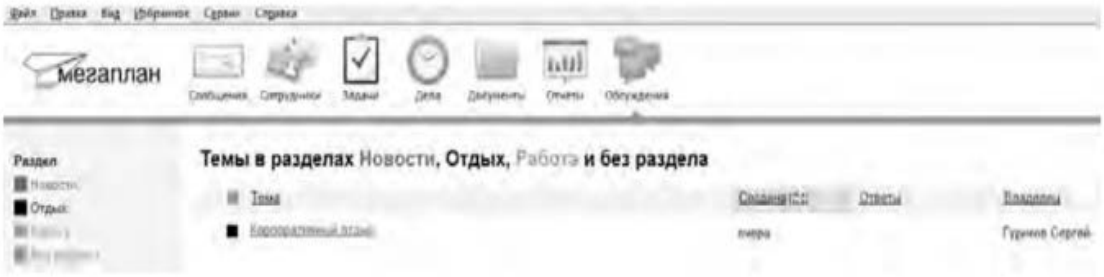


Рис. 4.Создание темы в модуле Обсуждение

Создайте несколько тем, воспользовавшись кнопкой **Добавить.** Обратите внимание на то, что вы можете ограничить просмотр обсуждаемых тем отдельным сотрудникам и группам. Корпоративный форум делает общение внутри компании более открытым. Возможность общения онлайн между сотрудниками, встреча которых могла бы и не произойти в реальной жизни, развивает неформальные отношения, вследствие которых совместная работа над проектами становится более комфортной. Работа над проектом, созданным в виртуальной среде, существенно упрощается за счет системы обмена сообщениями (модуль **Сообщения),** совместной работы, обработки файлов, находящихся в общем доступе.

Итак, освоение базовых функциональных операций в процессе работы с Мегапланом происходит очень быстро. С учетом того, что бесплатная версия продукта позволяет зарегистрировать трех пользователей, можно организовать сетевое взаимодействие, создав учебное предприятие и тем самым, усовершенствовать навыки взаимодействия исполнителей и руководителей в рабочем процессе.

Совместное времяпрепровождение за сетевыми развлечениями — последний вид сетевого взаимодействия, рассматриваемого нами. Сетевыми развлечениями в основном являются компьютерные игры. Вид взаимодействия в играх может быть различным: игроки могут соперничать друг с другом, могут быть в команде, а в некоторых играх возможны оба вида взаимодействия. Соперничество может выражаться как напрямую, например игра в шахматы, так и в таблице рейтингов в какой-нибудь браузерной игре.

Существует особый жанр игр MMORPG (англ. Massive Multiplayer Online Role-playing Game, массовая многопользовательская онлайновая ролевая игра) — разновидность онлайновых

ролевых игр, позволяющая тысячам людей одновременно играть в изменяющемся виртуальном мире через Интернет. Сообщество любителей игр в жанре MMORPG зарегистрировано в сети Интернет по адресу www.mmorpg.su.

Подобные игры, как правило, построены на технологии «клиент-сервер», но есть разновидности, где в качестве клиента выступает обычный браузер. Игрок в такой игре представляется своим **аватаром** — виртуальным представлением его игрового персонажа. Создатели игры поддерживают существование игрового мира, в котором происходит действие игры и который населен ее персонажами.

Когда геймеры попадают в игровой мир, они могут в нем выполнять различные действия вместе с другими игроками со всего мира. Разработчики MMORPG поддерживают и постоянно развивают свои миры, добавляя новые возможности и доступные действия для того, чтобы «гарантировать» интерес игроков. Яркими представителями подобного рода игр на сегодняшний день являются EverQuest, World of Warcraft, Anarchy Online, Asheron's Call, Everquest II, Guild Wars, Ragnarok Online, Silkroad Online, The Matrix Online, City of Heroes.

Задания:

а)Создайте свой аккаунт (если вы его не имеете) в одной из социальных сетей, например Livejournal или Facebook. Выполните скриншоты своего блога. Результат отправьте на электронную почту преподавателя.

б)Используя программу Windows Live Messenger, добавьте в друзья (по предварительной договоренности) своего преподавателя и свяжитесь с ним в режиме реального времени либо оставьте ему сообщение.

в)Установите на свой компьютер программу Яндекс.Диск. Предоставьте доступ к нескольким файлам своему преподавателю.

г)Создайте учебное предприятие, используя облачный сервис Мегаплан. Заполните информацией все имеющиеся в программе модули. Установите связи между отделами. Пригласите нескольких своих друзей в проект. Продемонстрируйте результат преподавателю, открыв ему доступ.

д)Напишите краткий отчет о результатах своей работы по созданию виртуального предприятия, указав в нем этапы его создания, результаты совместной сетевой деятельности.

е)Являетесь ли вы участником какой-либо игры в жанре MMORPG? Если да, расскажите об основных правилах той игры, в которой вы участвуете. Каким образом происходит ваше взаимодействие в ней с друзьями?

3. Организация форумов

Методические указания

В настоящее время перед каждым образовательным учреждением стоит задача формирования открытой информационной образовательной среды. Эффективным механизмом является использование коммуникационных возможностей сети Интернет. В частности, организация на сайтах или в информационных системах образовательных учреждений форумов (дискуссий).

Форум — это web-страница, созданная на основе клиент-серверной технологии для организации общения пользователей сети Интернет. Концепция форума основана на создании разделов, внутри которых происходит обсуждение различных тем в форме сообщений. От чата форум отличается тем, что общение может происходить не в реальном времени. Таким образом, человек имеет возможность подумать над своим ответом или над создаваемой темой.

По методу формирования набора тем форумы бывают:

- **тематические. В** рамках таких форумов пользователи обсуждают предварительно опубликованную статью, новость СМИ и т.д. Обсуждение происходит в одной или нескольких темах;

- **проблемные.** Для обсуждения предлагается ряд проблемных вопросов (тем). Обсуждение каждой проблемы происходит в своей ветке. Чаще всего в подобных типах форумов пользователь не имеет права создавать новую тему;

- **постоянно действующие форумы.** Форумы поддержки (помощи). По такому принципу строятся форумы технической поддержки, различные консультации и пр. Чаще всего это форумы с динамическим списком тем, где простые участники могут создавать новую тему в рамках тематики форума.

Форумы функционируют согласно определенным правилам, которые определяют администраторы и модераторы. **Администратор форума** следит за порядком во всех разделах, контролирует общение на ресурсе и соблюдение правил сайта. **Модератор форума** чаще всего следит за порядком в конкретном разделе, имеет более узкие права, чем администратор. Его основная задача — увеличивать популярность форума, количество участников и число интересных обсуждений. Дополнительные задачи:

- стимулировать появление новых интересных тем;
- стимулировать общение на форуме;
- не допускать конфликтных ситуаций на форуме, а в случае их возникновения — уметь найти выход из сложной ситуации;
- при появлении в темах **спама** (рассылка коммерческой и иной рекламы или иных видов сообщений (информации) лицам, не выражавшим желания их получать) немедленно сообщать об этом администратору сайта;
- следить за культурой сетевого общения.

Для каждого конкретного форума администратором могут быть созданы свои правила, но в целом их можно свести к следующим:

1. На форумах приветствуется поддержание дискуссии, обмен опытом, предоставление интересной информации, полезных ссылок.
2. Не нужно вести разговор на «вольные» темы и размещать бессодержательные (малосодержательные) или повторяющиеся сообщения. Под бессодержательными (малосодержательными) понимаются, в частности, сообщения, содержащие исключительно или преимущественно эмоции (одобрение, возмущение и т. д.).
3. Желательно проверять грамотность сообщений (например, редактором Microsoft Word) — ошибки затрудняют понимание вопроса или ответа и могут раздражать участников обсуждения.
4. Длинные сообщения желательно разбивать на абзацы пустыми строчками, чтобы их было удобно читать.
5. Запрещается размещать заведомо ложную информацию.
6. Не рекомендуется публиковать сообщения, не соответствующие обсуждаемой теме, в том числе личные разговоры в ветках форума.
7. Не следует писать сообщения сплошными заглавными буквами, так как это эквивалентно повышению тона, а также латинскими буквами. При этом сообщение считается нарушающим данное правило, если такого рода текстом набрано более трети всего сообщения.
8. Участники форума не должны нарушать общепринятые нормы и правила поведения. Исключено употребление грубых слов и ненормативной лексики, выражение расистских, непристойных, оскорбительных или угрожающих высказываний, нарушений законодательства в области авторского права или сохранности конфиденциальной информации.
9. Запрещено публично обсуждать нелегальное использование (в том числе взлом) программного обеспечения, систем безопасности, а также публикацию паролей, серийных номеров и адреса (ссылки), по которым можно найти что-либо из вышеназванного.
10. Не следует размещать в форумах, а также рассылать через личные сообщения коммерческую рекламу и спам.

Для создания форумов используется ряд программных решений, написанных на языке PHP (англ. Hypertext Preprocessor — предпроцессор гипертекста) и используемых для ведения своей базы данных сервер MySQL. К их числу относится **Invision Power Board** (www.invisionpower.com), **vBulletin** (www.vbulletin.com), **PHP Bulletin Board** (www.phpbb.com), **Simple Machines Forum** (www.simplemachines.org) и ряд других.

Однако создать «движок форума» с помощью перечисленного программного обеспечения начинающему пользователю будет весьма непросто, поскольку и сами программы, и документация к ним написаны на английском языке.

Попробовать свои силы для создания тематического форума можно с использованием российских web-сервисов, предлагающих свои услуги в этом направлении. Остановим свой выбор на сервисе Forum2x2 (www.forum2x2.ru), который предлагает создание и хостинг форумов. Forum2x2 позволяет создать форум бесплатно, всего за несколько секунд и без всяких технических знаний, а после — мгновенно начать общение. Интерфейс форума является наглядным, простым в использовании и легко настраивается.

Определим следующую задачу — создать форум своего учебного заведения. Находясь на сайте сервиса Forum2x2, выберем кнопку **Создать бесплатный форум.** Пользователю будет предложено выбрать одну из четырех версий создания форумов: Phpbb3, Phpbb2, IPB и Punbb. Их краткая характеристика будет представлена в соответствующих вкладках. Воспользуемся самым простым из них - **Punbb,** который предоставляет только базовые опции web-форума, а следовательно, является оптимальным по скорости и простоте использования. Далее нам предстоит выполнить три простых шага:

- 1. Выбрать графический стиль форума.
- 2. Ввести название форума, его интернет-адрес, свой адрес электронной почты, пароль.
- 3. Прочитать информацию о недопустимом содержании создаваемого форума.

На этом создание форума можно считать завершенным. На рис. 5 представлен один из возможных примеров созданного форума.



Рис. 5 Внешний вид созданного форума

В своем электронном почтовом ящике вы обнаружите письмо от администрации сервиса Forum2x2, в котором будут даны несколько полезных советов для успешного начала работы форума, в частности:

- - поместить в форум несколько сообщений, чтобы задать тон обсуждения;
- - внести личный аспект в стиль оформления форума, подобрав цвета и шрифты;
- - сообщить по электронной почте друзьям о новом форуме и пригласить их поучаствовать в форуме;
- - поместить ссылки на форум на других сайтах, форумах и в поисковых системах.

Для администрирования вновь созданного форума необходимо ввести имя пользователя (Admin) и пароль, который вы выбрали при создании форума. После этого вы получаете доступ к ссылке **Панель администратора,** расположенной внизу страницы, которая имеет несколько вкладок (рис. 6).



Рис. 6. Вкладки Панели администратора

Вкладка **Главная** отображает информацию по статистике созданных сообщений, количестве пользователей и тем. Здесь же можно воспользоваться практическими советами по повышению посещаемости созданного форума. Попробуйте пригласить на созданный форум своих друзей, знакомых, с помощью ссылки **Адреса Email,** вводя в соответствующее поле их электронные адреса. Максимальное число приглашений, отправляемых за один раз, — десять.

Вкладка **Общие настройки** позволяет сконфигурировать форум в соответствии с личными целями администратора. В частности, можно изменить название сайта, его описание, определить конфигурацию защиты форума, определить E- mail администратора.

С помощью раздела **Категории и форумы** создайте свои форумы, определите порядок их вывода с помощью соответствующих кнопок **(Сдвинуть вверх, Сдвинуть вниз). Категория** представляет собой совокупность форумов, объединенных общей тематикой. Один из возможных примеров создания форумов приведен на рис. 7.

Сделанные изменения доступны для просмотра после нажатия на кнопку **Просмотр форума.** Находясь на вкладке **Общие настройки,** перейдите в раздел **Раскрутка форума** и выберите пункт **Поисковые системы.** Введите информацию для ваших мета-тегов, чтобы улучшить позицию вашего форума в поисковых системах. **Мета-теги** — это невидимые коды, используемые поисковиками для индексации и позиционирования вашего форума. Зарегистрируйте ваш форум в основных поисковых системах: Yandex, Google, Rambler.

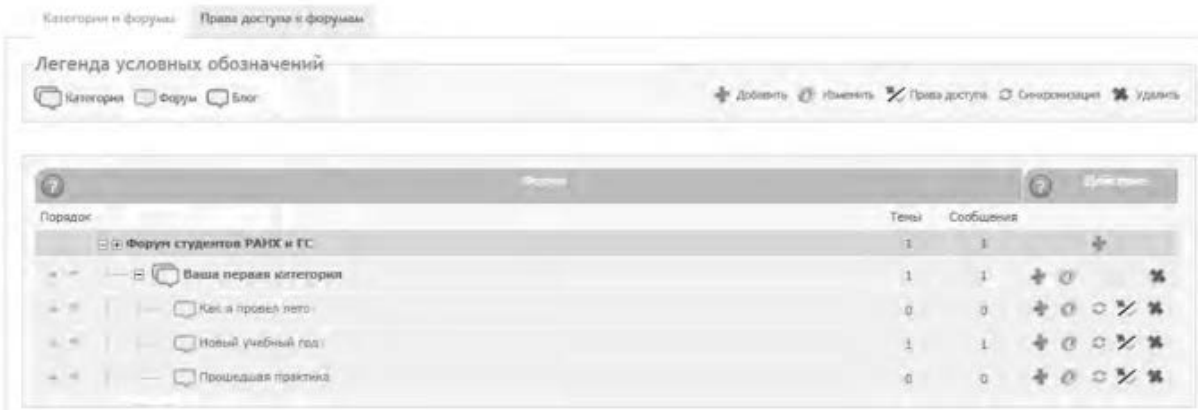


Рис. 7. Структура форумов

Используя вкладку **Оформление,** поэкспериментируйте с различными стилями для того, чтобы повысить привлекательность форума. Здесь же можно поменять версию «движка» форума.

Будучи администратором вашего форума, вы являетесь его единственным полноправным хозяином и полностью контролируете его. С помощью вкладки **Пользователи**

& Группы создайте группу модераторов, ответственных за соблюдение установленных вами правил (правил орфографии, правил поведения на форуме и т.д.).

Перейдите на вкладку **Модули.** Здесь вы можете добавить к вашему форуму такие модули, как портал, календарь, галерея, чат или листы персонажей. Выберите ссылку **Портал.** Появится информация о том, что портал не инсталлирован. Нажмите ссылку — инсталлировать. Внешний вид созданного портала представлен на рис. 8.



Рис. 8. Созданный портал

На вкладке **Модули** попробуйте поработать с виджетами (гаджетами) форума, из которых и состоит портал. **Виджет** — это элемент интерфейса, предназначенный для облегчения доступа к информации.

Добавьте/удалите стандартные виджеты форума (Поиск, Календарь, Новости, Последние темы, Самые активные пользователи и др.), отслеживая изменения нажатием кнопки **Просмотр портала.** Оставьте наиболее удачный, с вашей точки зрения, вариант.

Итак, мы приобрели первоначальные практические навыки создания собственного форума и выполнили действия, направленные на увеличение его посещаемости. Кроме того, необходимо создать ссылку на форум с главной страницы сайта учебного заведения. Следует отметить, что, для того чтобы созданный форум не оставался в статичном виде, необходима большая работа администратора, модераторов по его поддержанию.

Альтернативным способом организации форумов является их развертывание в информационной системе учебного заведения. На современном отечественном рынке автоматизированных информационных систем управления учебным процессом представлено достаточно большое количество решений. Свой выбор остановим на ИС ModEUS (http://modeus.krf.ane.ru/index.php), которая разработана с учетом специфики российского образования и обеспечивает автоматизацию учебного процесса, в том числе и дистантного (учет учебного процесса, его планирование и публикация, подготовка отчетной документации).

После регистрации в системе ModEUS, нужно выбрать ссылку **Дискуссии.** Вы можете организовать дискуссию (форум) по любому из находящихся в системе курсов, щелкнув мышью по его названию.



Рис. 9. Страница Дискуссии в ИС ModEUS

Создадим новую тему, нажав одноименную кнопку. Впишем в соответствующие поля название темы и вопрос, предлагаемый для обсуждения. Подобная ситуация представлена на рис. 437. Кроме того, мы имеем возможность прикрепить текстовый файл объемом не более 16 Мб, например список вопросов к экзамену.

После нажатия на кнопку **Создать** тема дискуссии отображается в системе (рис. 10), и любой из студентов может принять участие в ее обсуждении.

Таким образом, можно определить преимущества создания форума в информационной системе учебного заведения:

- - отсутствует необходимость иметь практические навыки работы по созданию web-страниц;
- - нет необходимости заботиться о раскрутке форума - студенты и преподаватели постоянно работают в системе.

В то же время есть и ряд недостатков, в частности:

- - форум доступен исключительно для студентов и преподавателей учебного заведения, в котором функционирует информационная система;
- - стандартизированный типовой интерфейс для всех выполняемых функций;
- - нет возможности организовать дискуссию на вольную тему.

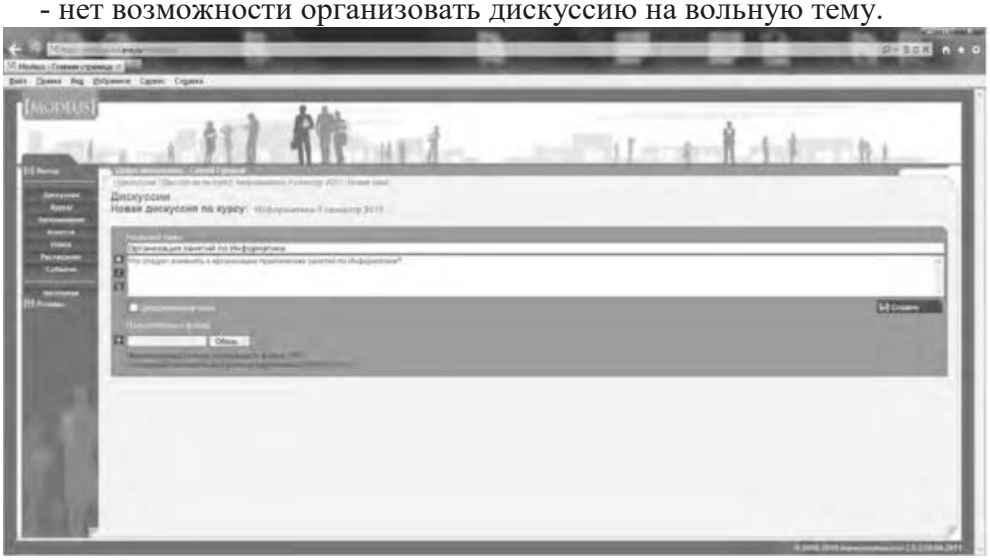


Рис. 10 Создание новой темы



Рис. 11. Создана тема для дискуссии

Использование тестирующих систем в локальной сети образовательного учреждения

Теперь познакомимся с возможностями ИС ModEUS для **организации тестирования студентов в локальной сети образовательного учреждения.** Использование тестирования как наиболее объективного метода оценки качества образования широко используется в учебных заведениях России. Полнота охвата проверкой требований к уровню подготовки студентов предполагает методику конструирования тестовых заданий закрытого и открытого типа. К тестовым заданиям **закрытого типа** относятся задания, предполагающие выбор верного ответа из предложенных вопросов. Тестовые задания **открытого типа** требуют конструирования ответов с кратким и развернутым ответом. И тот, и другой тип заданий успешно реализуются в ИС ModEUS.

Прежде чем создать тестовое задание, необходимо зайти в один из учебных курсов, находящихся в репозитарии (хранилище данных), нажав кнопку **Курсы** в главном меню. Под «курсом» в ПС ModEUS понимается дисциплина, находящаяся в учебном плане.

Найдем в списке **Занятия курса** требуемое занятие и нажмем ссылку **Список заданий,** находящуюся справа от поля **Тип.** Для того чтобы добавить задание в занятие, нажмем кнопку **Добавить.** Подобная ситуация представлена на рис. 11.

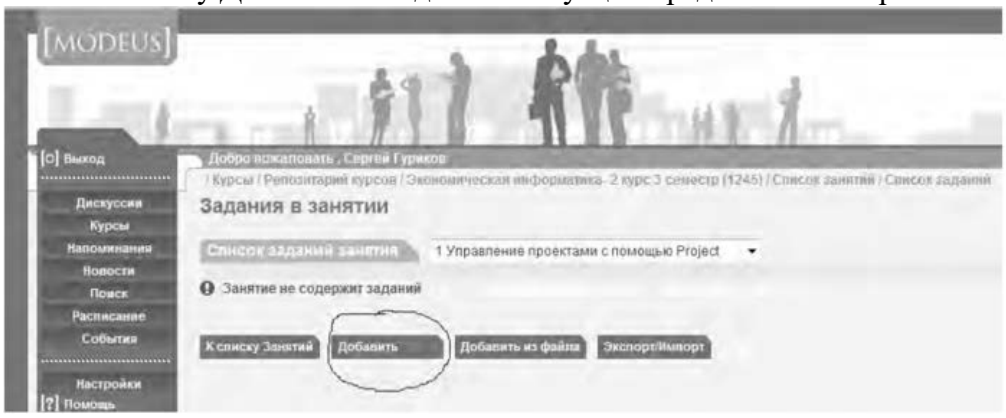


Рис.12. Добавление задания

Тип задания можно выбрать из раскрывающегося списка (рис. 12), кроме того, можно дать название новому заданию, установить балл и выбрать количество попыток сдачи.

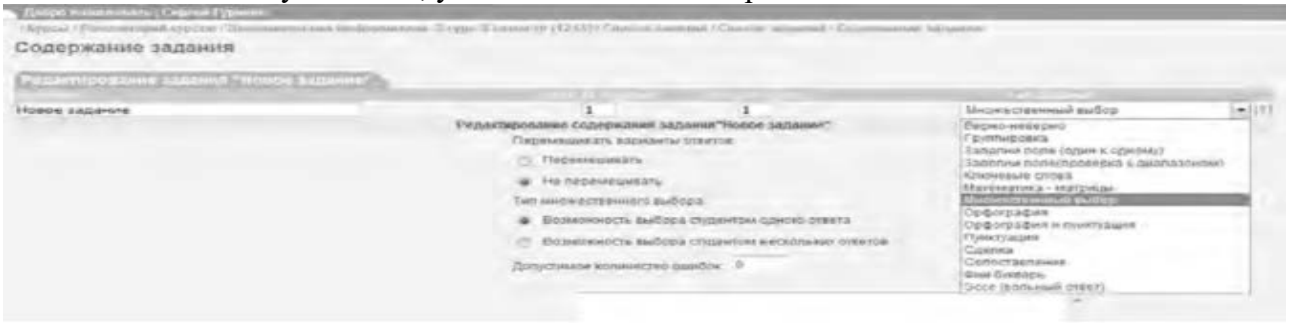


Рис.13. Выбор типа задания

Рассмотрим несколько примеров формирования вопросов закрытого и открытого типа в ИС ModEUS.

Тестовое задание со множественным выбором верных ответов (закрытый тип). Данный тип задания дает вам возможность задать вопрос и варианты ответов на него, из которых обучающийся должен выбрать верный (рис. 14). Правильным может быть один или несколько вариантов. Для того чтобы наполнить задание, выполните следующие действия:

- - в опции **Перемешивать варианты ответов** поставьте метку в поле **Перемешивать,** если вы хотите, чтобы указанные вами варианты ответов выводились на экран в различном порядке, поставьте метку в поле **Не перемешивать,** если варианты ответов должны выводиться всегда в одинаковом порядке;
- - в опции **Тип множественного выбора** поставьте метку в поле **Возможность выбора студентом одного ответа,** если обучающийся из предложенных вариантов ответов может выбрать только один верный, поставьте метку в поле **Возможность выбора студентом нескольких ответов,** если обучающийся может выбрать несколько верных ответов;
- - введите текст задания в поле **Текст задания;**
- - в случае если в задании присутствует приложение, укажите путь к этому приложению, нажав на кнопку I обзор... I и указав путь к файлу на жестком или сетевом диске. Приложением может быть документ любого формата, например изображение;
- - введите тексты вариантов ответов в соответствующие поля;
- - для добавления нового поля под вариант ответа нажмите на кнопку



- каждый вариант ответа может быть дополнен приложением. Для добавления к варианту ответа приложенияукажите путь к нему в поле **Добавить приложение,** нажав на кнопку 

и указав путь к файлу на жестком или сетевом диске;

- установите флажки напротив одного или нескольких правильных вариантов ответа;

- нажмите на кнопку 

для сохранения задания в базе данных;

- нажмите на кнопку 

, чтобы сохранить задание и сразу перейти к составлению нового задания.

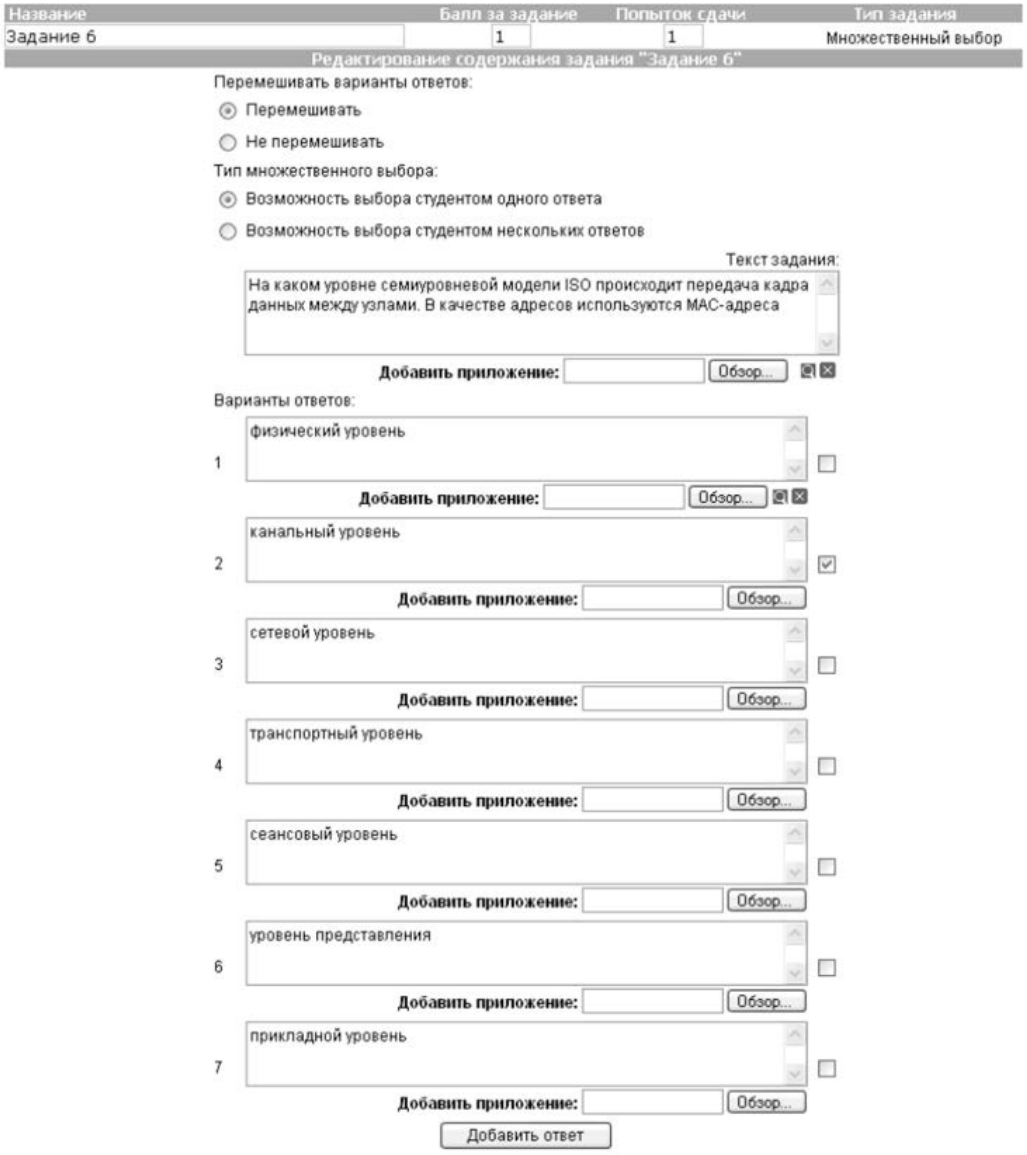


Рис. 14. Создание задания со множественным выбором верных ответов

Тестовое задание с добавлением слова (открытый тип). Данный тип задания (рис. 15) дает вам возможность задать вопрос, на который обучающийся должен ответить, введя ответ с клавиатуры в виде текста, цифры, слова, математической формулы и т.д. Для того чтобы наполнить задание, выполните следующие действия:

- - введите текст задания в поле **Текст задания;**
- - текст задания может представлять собой текст или текст в сочетании с приложением. Чтобы добавить приложение (изображение или документ), нажмите на кнопку Обзор..., находящуюся под полем **Текст задания,** и укажите путь к файлу на жестком или сетевом диске;
- - в поле **Вопрос** введите вопрос, на который должен ответить обучающийся;
- - в поле **Ответ** укажите правильный ответ;

- в пределах одного задания вы можете задать обучающемуся несколько вопросов. Для добавления вопроса нажмите на кнопку Добавить вопрос;

- нажмите на кнопку Зафиксировать для сохранения задания в базе данных;

- нажмите на кнопку Сохранить и добавить новое, чтобы сохранить задание и сразу

перейти к составлению нового задания.

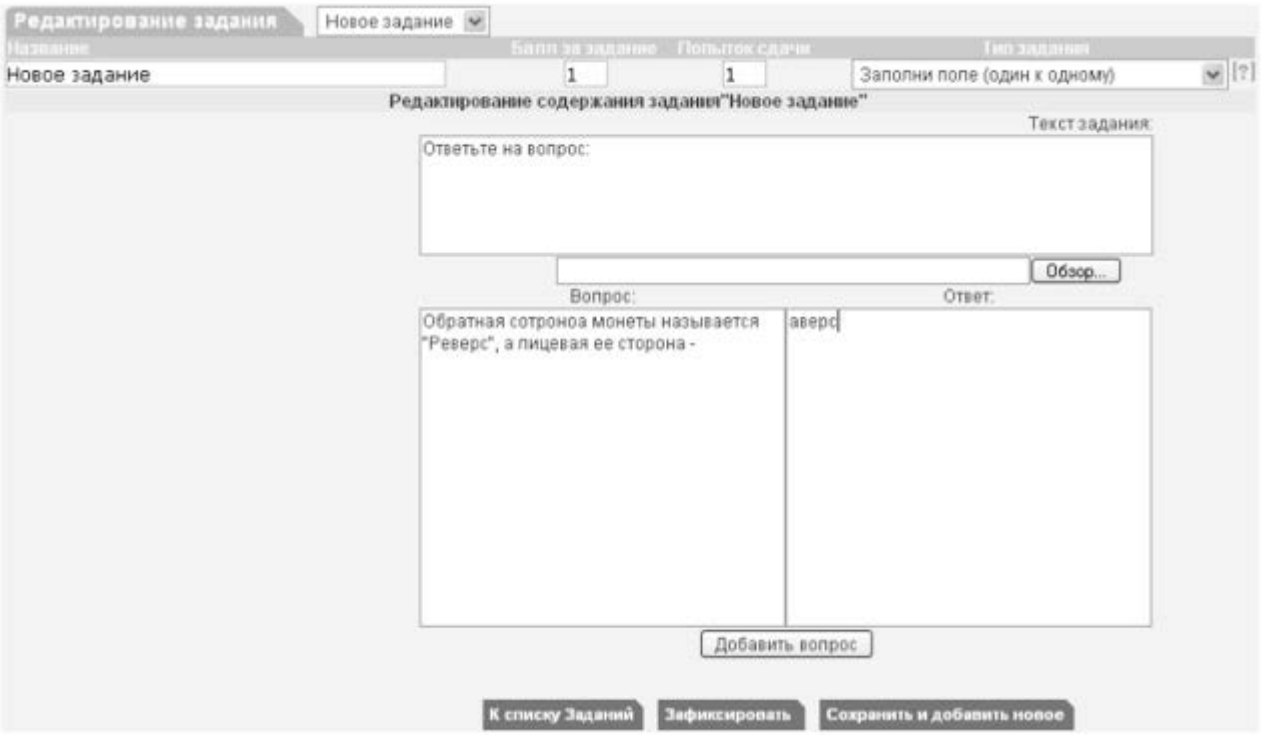


Рис. 15 Создание задания с добавлением слова

Кроме рассмотренных типов заданий, в ИС ModEUS существует и ряд других, в частности:

Верно - неверно. Данный тип задания предоставляет возможность обучающемуся выбрать один из вариантов ответа («верно» или «неверно») на поставленный вопрос.

Группировка. В данном типе задания обучающемуся необходимо распределить заданный список понятий по группам.

Заполни поле (проверка с диапазоном). Данный тип задания дает возможность задать вопрос, на который обучающийся должен ответить, введя с клавиатуры числовой ответ.

Сопоставление. Проверяется способность обучающихся сопоставить понятия по указанному принципу.

Эссе. Обучающийся отвечает в свободной форме на поставленный преподавателем вопрос. Вопрос может быть представлен в виде текста или любого другого документа.

Следует отметить, что в ИС ModEUS можно задать количество вопросов, время на проведение тестовых заданий, а также **мощность теста.** Мощность определяет количество заданий, которые будут предложены студенту для выполнения. Например, если в группе заданий десять вариантов заданий, а мощность группы равна пяти, то студенту будут предложены для выполнения пять заданий из десяти. После проведения тестирования в информационной системе происходит автоматическое формирование оценок на основании выполненных студентами заданий.

Итак, мы завершили рассмотрение возможностей информационной системы, работающей в локальной сети учебного заведения для организации форумов и проведения тестирования студентов.

Настройка видео web-сессий

В настоящее время миллионы пользователей во всем мире используют видеосвязь с помощью сети Интернет для общения друг с другом. Достоинства такого способа общения очевидны: есть возможность слышать и визуально наблюдать собеседника, находящегося, возможно, за тысячи километров. Для обеспечения полноценной видеосвязи для захвата и воспроизведения видео и звука могут использоваться как встроенные в компьютер камера, микрофон или динамик, так и внешние устройства, такие как web-камера, головная гарнитура, а также следует обеспечить высокоскоростной доступ к Интернету.

Взаимодействие собеседников при организации видео web-сессий возможно в нескольких направлениях: видеоконференция и видеотелефония.

1. **Видеоконференция** — это технология интерактивного взаимодействия двух и более человек, при которой между ними происходит обмен информацией в режиме реального времени. Существует нескольких видов видеоконференций:

- **симметричная (групповая)** видеоконференция позволяет проводить сеансы показа презентаций или рабочего стола;
- **асимметричная** видеоконференция используется для дистанционного образования. Позволяет собрать в конференции множество участников таким образом, что все они будут видеть и слышать одного ведущего, он, в свою очередь, всех участников одновременно;
- **селекторное видеосовещание** — рассчитано на взаимодействие большой группы участников, при котором пользователи имеют возможность активно обсуждать действия при чрезвычайных ситуациях, оперативно решать текущие вопросы.

Для эффективной организации проведения web-конференций, маркетинговых презентаций, онлайн-обучения, совещаний и любых других видов онлайн-встреч существует ряд программных решений. В качестве примера можно привести программы Mirapolis Virtual Room (http://virtualroom.ru/), ВидеоМост (www.videomost.com), TrueConf Online (http://trueconf.ru/) и др.

2. Видеотелефония — реализуется посредством сеанса видеосвязи между двумя пользователями, во время которого они могут видеть и слышать друг друга, обмениваться сообщениями и файлами, вместе работать над документами и при этом находиться в разных местах в комфортной для себя обстановке.

Для того чтобы общаться с близкими и друзьями, можно бесплатно совершать видеозвонки с помощью таких программ, как Skype (http://www.Skype, com/intl/ru/get-skype), Mail.ru Агент (http://agent.mail.ru) и ряд других.

Для того чтобы проверить наличие встроенной web-камеры на компьютере, достаточно войти в меню **Пуск,** выбрать **Компьютер,** щелкнуть на нем правой кнопкой мыши и в контекстно-зависимом меню нажать пункт **Свойства.** Далее следует выбрать пункт меню **Диспетчер устройств,** а в нем пункт **Устройства обработки изображений.** Наличие в нем устройства, например, USB 2.0 Camera свидетельствует о наличии web-камеры.

Кроме того, в документации к компьютеру (Руководство пользователя) или другому устройству должны быть приведены сведения об установленных в систему устройствах и, в частности, инструкция по использованию встроенной камеры и программному обеспечению, отвечающему за данное устройство.

Одной из таких популярных утилит является ArcSoft WebCam Companion — пакет приложений для взаимодействия с web-камерой, который позволяет захватывать, редактировать изображения и записывать видео. Самостоятельно проведите ее инсталляцию, воспользовавшись web-адресом http://arcsoft-webcam- companion.en.softonic.com. После установки данной программы на компьютер ее можно запустить на выполнение командой **Пуск/Все программы/ArcSoft WebCam Companion/WebCam Companion.** Интерфейс программы представлен несколькими разделами: Захват, Маска, Забавная рамка, Правка, Монитор, Другие приложения (рис. 16).



Рис. 16. Пункты меню программы ArcSoft WebCam Companion

Выберем значок **Захват,** а в нем пункт меню **Параметры web-камеры.** Откроется окно, представленное на рис. 17.

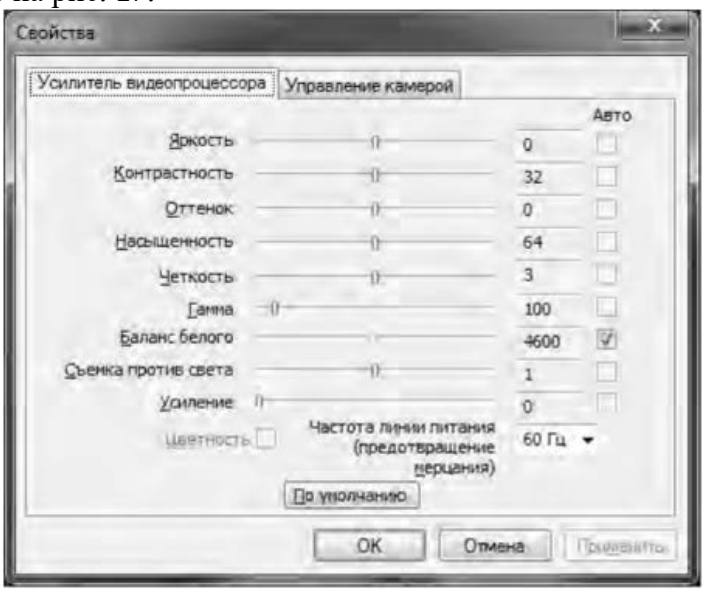


Рис. 17. Окно Свойства web-камеры

Как видно из рис. 17, в данном окне можно изменить основные параметры настройки web-камеры, одновременно наблюдая за результатом на экране. При желании настройки можно вернуть в исходное состояние, нажав на кнопку **По умолчанию.**

Теперь поговорим о том, как организовать web-сессию в такой популярной программе, как Skype. Ее большим преимуществом является такой факт, что звонки между абонентами являются бесплатными. Однако, если вы делаете звонок на мобильный или стационарный телефон, вам потребуется позаботиться о том, чтобы на вашем счете были деньги. Положить деньги на оплату разговоров в Skype вы можете с использованием такого сервиса, как Яндекс.Деньги (https://money.yandex.ru/).

Инсталлируйте программу Skype, воспользовавшись ее адресом в сети Интернет http://www.skype.com/intl/ru/get-skype. После установки программа становится доступной после выполнения команды **Пуск/Все программы/ Skype/Skype. В** окне регистрации введите свой логин и пароль. Обратите внимание на то, что если вы установите флажок в пункте **Автоматическая авторизация при запуске Skype,** то вам не придется каждый раз вводить свои данные.

Добавьте своих друзей, родственников в список контактов, воспользовавшись командой **Контакты/Добавить контакт.** Вам нужно ввести фамилию, имя знакомого, его контактный телефон, адрес электронной почты. В результате ваши контакты будут располагаться в группе **Контакты** и будут видны при каждом запуске программы.

Выполним настройку web-камеры. Последовательно нажмем **Инструменты/Настройки/Настройки видео.** Появится окно, представленное на рис. 18.

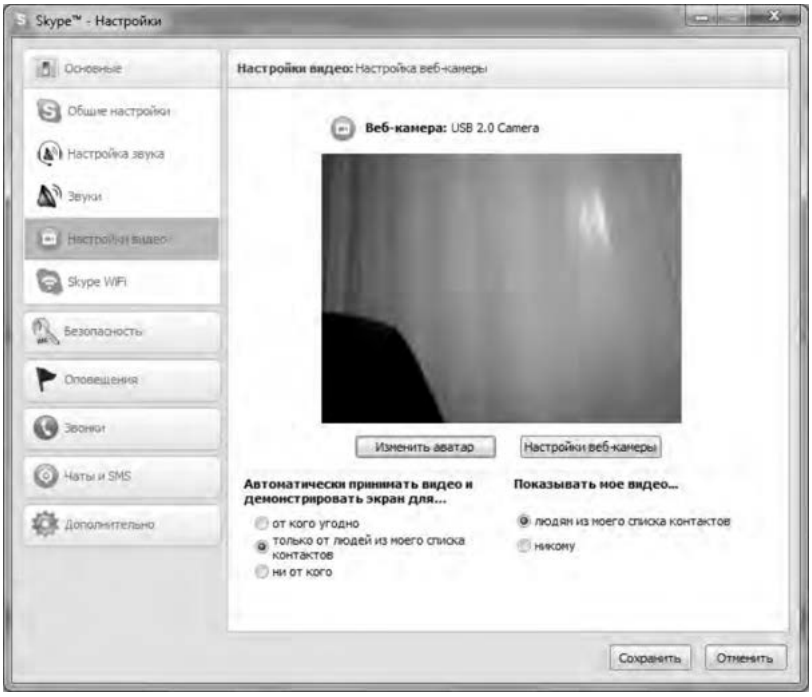


Рис.18. Окно Настройки

Если вы видите изображение - камера настроена и готова к работе. В противном случае, Skype выведет об этом текстовое сообщение. Теперь перейдем в меню **Настройка звука.** Проверьте, что поставлен флажок в опции **Разрешить автоматическую настройку микрофона.** Скажите несколько слов вслух, уровень громкости звука в опции **Громкость** должен изменяться. Окончательно проверить сделанные настройки можно с помощью контрольного звонка. Для этого, находясь в меню **Настройка** звука, выберите пункт **Сделать контрольный звонок в** Skype. В ходе контрольного звонка вы сможете сделать запись своего голоса в течение десяти секунд, а затем прослушать его. Если этот эксперимент окончится удачно, значит, все настройки выполнены правильно и программа готова к работе.

Теперь, когда мы завершили работу с настройками программы, можно попробовать сделать видеозвонок. Для этого необходимо совершить следующие действия:

1. Войти в программу Skype.
2. В группе **Контакты** щелчком мыши выбрать абонента. Во время звонка он должен быть в сети, о чем будет свидетельствовать соответствующий значок в программе Skype.
3. Нажать кнопку **Видеозвонок.**

Через несколько секунд соединение будет установлено и вы можете начать разговор, в процессе которого вы будете видеть и слышать своего собеседника. Подобная ситуация представлена на рис. 19.



Рис. 19 Сеанс связи установлен

Если во время разговоров у вас возникают неполадки со звуком, такие как сильный фоновый шум, эхо, задержка звука, «механический» звук или пропадание слов, следует убедиться в следующем:

1. Использует ли собеседник последнюю версию программы Skype? Информацию о версии программы можно получить, выполнив команду **По- мощь/О** Skype.
2. Нет ли рядом с микрофоном источников шума?
3. Не расположен ли микрофон рядом с динамиками?
4. Достаточно ли высокая скорость соединения?

Кроме того, когда программа Skype обнаруживает неполадки во время звонка, на экране появляется сообщение с рекомендациями, которые помогут вам повысить качество связи. Необходимо выполнить эти рекомендации.

Итак, вы получили теоретические сведения и практические навыки работы с организацией видео web-сессий, которые, несомненно, будут востребованы в вашей повседневной жизни.

Задания:

а)Зарегистрируйтесь на сервисе Forum2x2. Создайте форум своего учебного заведения, выбрав одну из четырех версий создания форумов. Выполните советы для успешного начала работы своего форума, приведенные в параграфе 5.4. После завершения работы отправьте на электронную почту преподавателя ссылку на созданный вами форум.

б)Установите на свой компьютер программу Skype. Сделайте видеозвонок вашему преподавателю (по предварительной договоренности).

2. Проведите диагностику стиля делового общения.

Инструкция. С помощью этого теста вы можете оценить свой стиль делового общения. Вам предложено 80 утверждений. Из каждой пары выберите одно — то, которое, как вы считаете, наиболее соответствует вашему поведению. Обратите внимание па то, что ни одна пара не должна быть пропущена. Тест построен таким образом, что ни одно из приведенных ниже утверждений не является ошибочным.

1. Я люблю действовать.
2. Я работаю над решением проблем систематическим образом.
3. Я считаю, что работа в командах более эффективна, чем на индивидуальной основе.
4. Мне очень нравятся различные нововведения.
5. Я больше интересуюсь будущим, чем прошлым.
6. Я очень люблю работать с людьми.
7. Я люблю принимать участие в хорошо организованных встречах.
8. Для меня очень важными являются окончательные сроки.

9. Я против откладываний и проволочек.
10. Я считаю, что новые идеи должны быть проверены прежде, чем они будут применяться на практике.
11. Я очень люблю взаимодействовать с другими людьми. Это меня стимулирует и вдохновляет.
12. Я всегда стараюсь искать новые возможности.
13. Я сам люблю устанавливать цели, планы и т.п.
14. Если я что-либо начинаю, то доделываю это до конца.
15. Обычно и стараюсь понять эмоциональные реакции других.
16. Я создаю проблемы другим людям.
17. Я надеюсь получить реакцию других на свое поведение.
18. Я нахожу, что действия, основанные на принципе «шаг за шагом», являются очень эффективными.
19. Я думаю, что хорошо могу понимать поведение и мысли других.
20. Я люблю творческое решение проблем.
21. Я все время строю планы на будущее.
22. Я восприимчив к нуждам других.
23. Хорошее планирование — ключ к успеху.
24. Меня раздражает слишком подробный анализ.
25. Я остаюсь невозмутимым, если на меня оказывают давление.
26. Я очень ценю опыт.
27. Я прислушиваюсь к мнению других.
28. Говорят, что я быстро соображаю.
29. Сотрудничество является для меня ключевым словом.
30. Я использую логические методы для анализа альтернатив.
31. Я люблю, когда одновременно у меня идут разные проекты.
32. Я постоянно задаю себе вопросы.
33. Делая что-либо, я тем самым учусь.
34. Полагаю, что я руководствуюсь рассудком, а не эмоциями.
35. Я могу предсказать, как другие будут вести себя в той или иной ситуации.
36. Я не люблю вдаваться в детали.
37. Анализ всегда должен предшествовать действиям.
38. Я способен оценить климат в группе.
39. У меня есть склонность не заканчивать начатые дела.
40. Я воспринимаю себя как решительного человека.
41. Я ищу такие дела, которые бросают мне вызов.
42. Я основываю свои действия на наблюдениях и фактах.
43. Я могу открыто выразить свои чувства.
44. Я люблю формулировать и определять контуры новых проектов.
45. Я очень люблю читать.
46. Я воспринимаю себя как человека, способного интенсифицировать, организовать деятельность других.
47. Я не люблю заниматься одновременно несколькими вопросами.
48. Я люблю достигать поставленных целей.
49. Мне нравится узнавать что-либо о других людях.
50. Я люблю разнообразие.
51. Факты говорят сами за себя.
52. Я использую свое воображение, насколько это возможно.
53. Меня раздражает длительная, кропотливая работа.
54. Мой мозг никогда не перестает работать.
55. Важному решению предшествует подготовительная работа.
56. Я глубоко уверен в том, что люди нуждаются друг в друге, чтобы завершить работу.

57. Я обычно принимаю решение, особо не задумываясь.
58. Эмоции только создают проблемы.
59. Я люблю быть таким же, как другие.
60. Я не могу быстро прибавить пятнадцать к семнадцати.
61. Я примеряю свои новые идеи к людям.
62. Я верю в научный подход.
63. Я люблю, когда дело сделано.
64. Хорошие отношения необходимы.
65. Я импульсивен.
66. Я нормально воспринимаю различия в людях.
67. Общение с другими людьми значимо само по себе.
68. Люблю, когда меня интеллектуально стимулируют.
69. Я люблю организовывать что-либо.
70. Я часто перескакиваю с одного дела на другое.
71. Общение и работа совместно с другими людьми являются творческим процессом.
72. Самоактуализация является крайне важной для меня.
73. Мне очень нравится играть идеями.
74. Я не люблю попусту терять время.
75. Я люблю делать то, что у меня получается.
76. Взаимодействуя с другими, я учусь.
77. Абстракции интересны для меня.
78. Мне нравятся детали.
79. Я люблю кратко подвести итоги, прежде чем прийти к какому-либо умозаключению.
80. Я достаточно уверен в себе.

Обработка результатов.

Обведите те номера, на которые вы ответили положительно, и отметьте их в приведенной ниже таблице. Посчитайте количество баллов по каждому стилю (один положительный ответ равен 1 баллу). Тот стиль, по которому вы набрали наибольшее количество баллов (по одному стилю не может быть более 20 баллов), наиболее предпочтителен для вас.
Если вы набрали одинаковое количество баллов по двум стилям, значит, они оба присущи вам.

Ключ

Стиль 1: 1, 8, 9, 13, 17, 24, 26, 31, 33, 40, 41, 48, 50, 53, 57, 63, 65, 70, 74, 79.
Стиль 2: 2, 7, 10, 14, 18, 23, 25, 30, 34, 37, 42, 47, 51, 55, 58, 62, 66, 69, 75, 78.
Стиль 3: 3, 6, 11, 15, 19, 22, 27, 29, 35, 38, 43, 46, 49, 56, 59, 64, 67, 71, 76, 80.
Стиль 4: 4, 5, 12, J6, 20, 21, 28, 32, 36, 39, 44, 45, 52, 54, 60, 61, 68, 72, 73, 77.

Интерпретация результатов

Стиль 1 — ориентация на действие. Характерно обсуждение результатов, конкретных вопросов, поведения, ответственности, опыта, достижений, решений. Люди, владеющие этим стилем, прагматичны, прямолинейны, решительны, легко переключаются с одного вопроса на другой.

Стиль 2 — ориентация на процесс. Характерно обсуждение фактов, процедурных вопросов, планирования, организации, контролирования, деталей. Человек, владеющий этим стилем, ориентирован на систематичность, последовательность, тщательность. Он честен, многословен и мало эмоционален.

Стиль 3 ориентация на людей. Характерно обсуждение человеческих нужд, мотивов, чувств, «духа работы в команде», понимания, сотрудничества. Люди этого стиля эмоциональны, чувствительны, умеют сопереживать окружающим.

Стиль 4 — ориентация на перспективу, на будущее. Людям этого стиля присуще обсуждение концепций, больших планов, нововведений, различных вопросов, новых методов, альтернатив. Они обладают хорошим воображением, полны идей, но мало реалистичны и порой их сложно понять.

Задания:

а) На основе самодиагностики определите стиль делового общения

б) Дайте обоснование рекомендаций по совершенствованию делового общения.

ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТА

Общая характеристика реферата

Написание реферата практикуется в учебном процессе в целях приобретения магистрантом необходимой профессиональной подготовки, развития умения и навыков самостоятельного научного поиска: изучения литературы по выбранной теме, анализа различных источников и точек зрения, обобщения материала, выделения главного, формулирования выводов и т. п. С помощью реферата магистрант может глубже постигать наиболее сложные проблемы дисциплины, учится лаконично излагать свои мысли, правильно оформлять работу, докладывать результаты своего труда.

Реферат является первой ступенью на пути освоения навыков проведения научно-исследовательской работы. В «Толковом словаре русского языка» дается следующее определение: «**реферат** – краткое изложение содержания книги, статьи, исследования, а также доклад с таким изложением».

Различают два вида реферата:

- *репродуктивный* – воспроизводит содержание первичного текста в форме реферата-конспекта или реферата-резюме. В реферате-конспекте содержится фактическая информация в обобщённом виде, иллюстрированный материал, различные сведения о методах исследования, результатах исследования и возможностях их применения. В реферате-резюме содержатся только основные положения данной темы;
- *продуктивный* – содержит творческое или критическое осмысление реферируемого источника и оформляются в форме реферата-доклада или реферата-обзора. В реферате-докладе, наряду с анализом информации первоисточника, дается объективная оценка проблемы, и он имеет развёрнутый характер. Реферат-обзор составляется на основе нескольких источников и в нем сопоставляются различные точки зрения по исследуемой проблеме.

Магистрант для изложения материала должен выбрать продуктивный вид реферата.

Выбор темы реферата

Магистранту предоставляется право выбора темы реферата из рекомендованного преподавателем дисциплины списка. Выбор темы должен быть осознанным и обоснованным с точки зрения познавательных интересов автора, а также полноты освещения темы в имеющейся научной литературе.

Если интересующая тема отсутствует в рекомендованном списке, то по согласованию с преподавателем магистранту предоставляется право самостоятельно предложить тему реферата, раскрывающую содержание изучаемой дисциплины. Тема не должна быть слишком общей и глобальной, так как небольшой объем работы (до 20-25 страниц без учёта приложений) не позволит раскрыть ее.

Начинать знакомство с избранной темой лучше всего с чтения обобщающих работ по данной проблеме, постепенно переходя к узкоспециальной литературе. При этом следует сразу же составлять

библиографические выходные данные используемых источников (автор, название, место и год издания, издательство, страницы).

На основе анализа прочитанного и просмотренного материала по данной теме следует составить тезисы по основным смысловым блокам, с пометками, собственными суждениями и оценками. Предварительно подобранный в литературных источниках материал может превышать необходимый объем реферата.

Формулирование цели и составление плана реферата

Выбрав тему реферата и изучив литературу, необходимо сформулировать цель работы и составить план реферата.

Цель – это осознаваемый образ предвосхищаемого результата. Возможно, формулировка цели в ходе работы будет меняться, но изначально следует ее обозначить, чтобы ориентироваться на нее в ходе исследования. Формулирование цели реферата рекомендуется осуществлять при помощи глаголов: исследовать, изучить, проанализировать, систематизировать, осветить, изложить (представления, сведения), создать, рассмотреть, обобщить и т. д.

Определяясь с целью дальнейшей работы, параллельно необходимо думать над составлением плана, при этом четко соотносить цель и план работы. Правильно построенный план помогает систематизировать материал и обеспечить последовательность его изложения.

Наиболее традиционной является следующая **структура реферата**:

Титульный лист.

Оглавление (план, содержание).

Введение.

1. (полное наименование главы).
   1.1. (полное название параграфа, пункта);
   1.2. (полное название параграфа, пункта).
2. (полное наименование главы).
   2.1. (полное название параграфа, пункта);
   2.2. (полное название параграфа, пункта).

Основная часть

Заключение (выводы).

Библиография (список использованной литературы).

Приложения (по усмотрению автора).

Титульный лист оформляется в соответствии с Приложением.

Оглавление (план, содержание) включает названия всех глав и параграфов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие их начало в тексте реферата.

Введение. В этой части реферата обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цель и задачи работы, указываются используемые материалы и дается их краткая характеристика с точки зрения полноты освещения избранной темы. Объем введения не должен превышать 1-1,5 страницы.

Основная часть реферата может быть представлена двумя или тремя главами, которые могут включать 2-3 параграфа (пункта).

Здесь достаточно полно и логично излагаются главные положения в используемых источниках, раскрываются все пункты плана с сохранением связи между ними и последовательности перехода от одного к другому.

Автор должен следить за тем, чтобы изложение материала точно соответствовало цели и названию главы (параграфа). Материал в реферате рекомендуется излагать своими словами, не допуская дословного переписывания из литературных источников. В тексте обязательны ссылки на первоисточники, т. е. на тех авторов, у которых взят данный материал в виде мысли, идеи, вывода, числовых данных, таблиц, графиков, иллюстраций и пр.

Работа должна быть написана грамотным литературным языком. Сокращение слов в тексте не допускается, кроме общеизвестных сокращений и аббревиатуры. Каждый раздел рекомендуется заканчивать кратким выводом.

Заключение (выводы). В этой части обобщается изложенный в основной части материал, формулируются общие выводы, указывается, что нового лично для себя вынес автор реферата из работы над ним. Выводы делаются с учетом опубликованных в литературе различных точек зрения по проблеме рассматриваемой в реферате, сопоставления их и личного мнения автора реферата. Заключение по объему не должно превышать 1,5-2 страниц.

Библиография (список использованной литературы) – здесь указывается реально использованная для написания реферата литература, периодические издания и электронные источники информации. Список составляется согласно правилам библиографического описания.

Приложения могут включать графики, таблицы, расчеты.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕФЕРАТА

Общие требования к оформлению реферата

Рефераты по дисциплинам магистратуры направления подготовки 38.04.02 – «Менеджмент», как правило, требуют изучения и анализа значительного объема статистического материала, формул, графиков и т. п. В силу этого особое значение приобретает правильное оформление результатов проделанной работы.

Текст реферата должен быть подготовлен в печатном виде. Исправления и помарки не допускаются. Текст работы оформляется на листах формата А4, на одной стороне листа, с полями: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 15 мм и нижнее – 25 мм. При компьютерном наборе шрифт должен быть таким: тип шрифта Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5.

Рекомендуемый объем реферата – не менее 20 страниц. Титульный лист реферата оформляется магистрантом по образцу, данному в приложении 1.

Текст реферата должен быть разбит на разделы: главы, параграфы и т. д. Очередной раздел нужно начинать с нового листа.

Все страницы реферата должны быть пронумерованы. Номер страницы ставится снизу страницы, по центру. Первой страницей является титульный лист, но на ней номер страницы не ставится.

Таблицы

Таблицы по содержанию делятся на аналитические и неаналитические. Аналитические таблицы являются результатом обработки и анализа цифровых показателей. Как правило, после таких таблиц делается обобщение, которое вводится в текст словами: «таблица позволяет сделать вывод о том, что…», «таблица позволяет заключить, что…» и т. п.

В неаналитических таблицах обычно помещаются необработанные статистические данные, необходимые лишь для информации и констатации фактов.

Таблицы размещают после первого упоминания о них в тексте таким образом, чтобы их можно было читать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке.

Каждая таблица должна иметь нумерационный и тематический заголовок. Тематический заголовок располагается по центру таблицы, после нумерационного, размещённого в правой стороне листа и включающего надпись «Таблица» с указанием арабскими цифрами номера таблицы. Нумерация таблиц сквозная в пределах каждой главы. Номер таблицы состоит из двух цифр: первая указывает на номер главы, вторая – на номер таблицы в главе по порядку (например: «Таблица 2.2» – это значит, что представленная таблица вторая во второй главе).

Цифры в графах таблиц должны проставляться так, чтобы разряды чисел во всей графе были расположены один под другим. В одной графе количество десятичных знаков должно быть одинаковым. Если данные отсутствуют, то в графах ставят знак тире. Округление числовых значений величин до первого, второго и т. д. десятичного знака для различных значений одного и того же наименования показателя должно быть одинаковым.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другую страницу, при этом заголовок таблицы помещают только над ее первой частью, а над переносимой частью пишут «Продолжение таблицы» или «Окончание таблицы». Если в работе несколько таблиц, то после слов «Продолжение» или «Окончание» указывают номер таблицы, а само слово «таблица» пишут сокращенно, например: «Продолжение табл. 1.1», «Окончание табл. 1.1».

На все таблицы в тексте курсовой работы должны быть даны ссылки с указанием их порядкового номера, например: «…в табл. 2.2».

Формулы

Формулы – это комбинации математических знаков, выражающие какие-либо предложения.

Формулы, приводимые в реферате, должны быть наглядными, а обозначения, применяемые в них, соответствовать стандартам.

Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой, в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента дается с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы и уравнения следует выделять из текста свободными строками. Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знака (+), минус (–), умножения (х) и деления (:).

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах всей курсовой работы (реферата) или главы. В пределах реферата используют нумерацию формул одинарную, в пределах главы – двойную. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

В тексте ссылки на формулы приводятся с указанием их порядковых номеров, например: «…в формуле (2.2)» (второй формуле второй главы).

Иллюстрации

Иллюстрации позволяют наглядно представить явление или предмет такими, какими мы их зрительно воспринимаем, но без лишних деталей и подробностей.

Основными видами иллюстраций являются схемы, диаграммы и графики.

Схема – это изображение, передающее обычно с помощью условных обозначений и без соблюдения масштаба основную идею какого-либо устройства, предмета, сооружения или процесса и показывающее взаимосвязь их главных элементов.

Диаграмма – один из способов изображения зависимости между величинами. Наибольшее распространение получили линейные, столбиковые и секторные диаграммы.

Для построения линейных диаграмм используется координатное поле. По горизонтальной оси в изображенном масштабе откладывается время или факториальные признаки, на вертикальной – показатели на определенный момент (период) времени или размеры результативного независимого признака. Вершины ординат соединяются отрезками – в результате получается ломаная линия.

На столбиковых диаграммах данные изображаются в виде прямоугольников (столбиков) одинаковой ширины, расположенных вертикально или горизонтально. Длина (высота) прямоугольников пропорциональна изображенным ими величинам.

Секторная диаграмма представляет собой круг, разделенный на секторы, величины которых пропорциональны величинам частей изображаемого явления.

График – это результат обработки числовых данных. Он представляет собой условные изображения величин и их соотношений через геометрические фигуры, точки и линии.

Количество иллюстраций в работе должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста.

Иллюстрации обозначаются словом «Рис.» и располагаются после первой ссылки на них в тексте так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации должны иметь номер и наименование, расположенные по центру, под ней. Иллюстрации нумеруются в пределах главы арабскими цифрами, например: «Рис. 1.1» (первый рисунок первой главы). Ссылки на иллюстрации в тексте реферата приводят с указанием их порядкового номера, например: «…на рис. 1.1».

При необходимости иллюстрации снабжаются поясняющими данными (подрисуночный текст).

Приложения

Приложение – это часть основного текста, которая имеет дополнительное (обычно справочное) значение, но, тем не менее, необходима для более полного освещения темы. По форме они могут представлять собой текст, таблицы, графики, карты. В приложении помещают вспомогательные материалы по рассматриваемой теме: инструкции, методики, положения, результаты промежуточных расчетов, типовые проекты, имеющие значительный объем, затрудняющий чтение и целостное восприятие текста. В этом случае в тексте приводятся основные выводы (результаты) и делается ссылка на приложение, содержащее соответствующую информацию. Каждое приложение должно начинаться с новой страницы. В правом верхнем углу листа пишут слово «Приложение» и указывают номер приложения. Если в реферате больше одного приложения, их нумеруют последовательно арабскими цифрами, например: «Приложение 1», «Приложение 2» и т. д.

Каждое приложение должно иметь заголовок, который помещают ниже слова «Приложение» над текстом приложения, по центру.

При ссылке на приложение в тексте реферата пишут сокращенно строчными буквами «прил.» и указывают номер приложения, например: «…в прил. 1».

Приложения оформляются как продолжение текстовой части реферата со сквозной нумерацией листов. Число страниц в приложении не лимитируется и не включается в общий объем страниц реферата.

Библиографический список

Библиографический список должен содержать перечень и описание только тех источников, которые были использованы при написании реферата.

В библиографическом списке должны быть представлены монографические издания отечественных и зарубежных авторов, материалы профессиональной периодической печати (экономических журналов, газет и еженедельников), законодательные и др. нормативно-правовые акты. При составлении списка необходимо обратить внимание на достижение оптимального соотношения между монографическими изданиями, характеризующими глубину теоретической подготовки автора, и периодикой, демонстрирующей владение современными экономическими данными.

Наиболее распространенным способом расположения наименований литературных источников является алфавитный. Работы одного автора перечисляются в алфавитном порядке их названий. Исследования на иностранных языках помещаются в порядке латинского алфавита после исследований на русском языке.

Ниже приводятся примеры библиографических описаний использованных источников.

Статья одного, двух или трех авторов из журнала

Зотова Л. А., Еременко О. В. Инновации как объект государственного регулирования // Экономист. 2010. № 7. С. 17–19.

Статья из журнала, написанная более чем тремя авторами

Валютный курс и экономический рост / С. Ф. Алексашенко, А. А. Клепач, О. Ю. Осипова [и др.] // Вопросы экономики. 2010. № 8. С. 18–22.

Книга, написанная одним, двумя или тремя авторами

Иохин В. Я. Экономическая теория: учебник. М.: Юристъ, 2009. 178 с.

Книга, написанная более чем тремя авторами

Экономическая теория: учебник / В. Д. Камаев [и др.]. М.: ВЛАДОС, 2011. 143 с.

Сборники

Актуальные проблемы экономики и управления: сборник научных статей. Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. 146 с.

Статья из сборника

Данилов А. Г. Система ценообразования промышленного предприятия // Актуальные проблемы экономики и управления: сб. научных статей. Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. С. 107–113.

Статья из газеты

Крашаков А. С. Будет ли обвал рубля // Аргументы и факты. 2011. № 9. С. 3.

Библиографические ссылки

Библиографические ссылки требуется приводить при цитировании, заимствовании материалов из других источников, упоминании или анализе работ того или иного автора, а также при необходимости адресовать читателя к трудам, в которых рассматривался данный вопрос.

Ссылки должны быть затекстовыми, с указанием номера соответствующего источника (на который автор ссылается в работе) в соответствии с библиографическим списком и соответствующей страницы.

Пример оформления затекстовой ссылки

Ссылка в тексте: «При оценке стоимости земли необходимо учесть все возможности ее производственного использования» [17, С. 191].

В списке использованных источников:

17. *Борисов Е. Ф.* Основы экономики. М.: Юристъ, 2008. 308 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ РЕФЕРАТА

Необходимо заранее подготовить тезисы выступления (план-конспект).

Порядок защиты реферата.

1. Краткое сообщение, характеризующее цель и задачи работы, ее актуальность, полученные результаты, вывод и предложения.
2. Ответы магистранта на вопросы преподавателя.
3. Отзыв руководителя-консультанта о ходе выполнения работы.

Советы магистранту:

- Готовясь к защите реферата, вы должны вспомнить материал максимально подробно, и это должно найти отражение в схеме вашего ответа. Но тут же необходимо выделить главное, что наиболее важно для понимания материала в целом, иначе вы сможете проговорить все 15-20 минут и не раскрыть существа вопроса. Особенно строго следует отбирать примеры и иллюстрации.
- Вступление должно быть очень кратким – 1-2 фразы (если вы хотите подчеркнуть при этом важность и сложность данного вопроса, то не говорите, что он сложен и важен, а покажите его сложность и важность).
- Целесообразнее вначале показать свою схему раскрытия вопроса, а уж потом ее детализировать.
- Рассказывать будет легче, если вы представите себе, что объясняете материал очень способному и хорошо подготовленному человеку, который не знает именно этого раздела, и что при этом вам обязательно нужно доказать важность данного раздела и заинтересовать в его освоении.
- Строго следите за точностью своих выражений и правильностью употребления терминов.
- Не пытайтесь рассказать побольше за счет ускорения темпа, но и не мямлите.
- Не демонстрируйте излишнего волнения и не напрашивайтесь на сочувствие.
- Будьте особенно внимательны ко всем вопросам преподавателя, к малейшим его замечаниям. И уж ни в коем случае его не перебивайте!
- Не бойтесь дополнительных вопросов – чаще всего преподаватель использует их как один из способов помочь вам или сэкономить время. Если вас прервали, а при оценке ставят в вину пропуск важной части материала, не возмущайтесь, а покажите план своего ответа, где эта часть стоит несколько позже того, на чем вы были прерваны.
- Прежде чем отвечать на дополнительный вопрос, необходимо сначала правильно его понять. Для этого нужно хотя бы немного подумать, иногда переспросить, уточнить: правильно ли вы поняли поставленный вопрос. И при ответе следует соблюдать тот же принцип экономности мышления, а не высказывать без разбора все, что вы можете сказать.
- Будьте доброжелательны и тактичны, даже если к ответу вы не готовы (это вина не преподавателя, а ваша).

ТЕМЫ РЕФЕРАТА

1. Общение как социально-психологическая категория.
2. Коммуникативная культура в деловом общении.
3. Условия общения и причины коммуникативных неудач.
4. Роль невербальных компонентов в речевом общении.
5. Речевой этикет, его основные функции и правила.
6. Причины отступлений от норм в речи, типы речевых ошибок, пути их устранения и предупреждения.
7. Деловая беседа (цели, задачи, виды, структура).
8. Особенности телефонного разговора.
9. Новые тенденции в практике русского делового письма.
10. Культура дискутивно-полемической речи. Виды споров, приемы и уловки в споре
11. Основные правила эффективного общения.
12. Личность как субъект общения. Коммуникативная компетентность личности.
13. Конфликтное поведение и причины его возникновения в деструктивном взаимодействии.
14. Деловое общение и управление им.
15. Отношения сотрудничества и конфликта в представлениях российских работников.
16. Реформы в России и проблемы общения молодого поколения и работодателей.
17. Культура речи в деловом общении.
18. Содержание закона конгруэнтности и его роль в деловом общении.
19. Этика использования средств выразительности деловой речи.
20. Особенности речевого поведения.
21. Культура устной и письменной речи делового человека в современной России.
22. Вербальные конфликтогены в практике современного российского общества.
23. Этические нормы телефонного разговора.
24. Основные тенденции развития Российской деловой культуры.
25. Характеристика манипуляций в общении.
26. Приемы, стимулирующие общение и создание доверительных отношений.
27. Правила подготовки публичного выступления.
28. Правила подготовки и проведения деловой беседы.
29. Типология конфликтных личностей и способы общения с ними.
30. Этикет и имидж делового человека.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете*(в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

ФТД.03 ОСНОВЫ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ И ПРАВОВЫХ ЗНАНИЙ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	5
2	Методические указания по подготовке к опросу	9
3	Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	11
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	13
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	14
	Заключение	17
	Список использованных источников	18

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитияисследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);

- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентовonline и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации [1] . Формально можновыделить следующиеэтапы:

- ознакомление студентовс текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия, необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

---

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;

• время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания.

Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю; групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим методам.

2. Методические указанияпо подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

В соответствии с технологической картой письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента по данной дисциплине. При подготовке к письменному опросу студент должен внимательно изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются дляосвещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии[2].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубинаответа.
3. Сознательность ответа(учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложенияматериала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременностьи эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использованиедополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

3.Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Продолжительность одного практического занятия – от 2 до 4 академических часов. Общая доля практических занятий в учебном времени на дисциплину – от 10 до 20 процентов (при условии, что все активные формы займут в учебном времени на дисциплину от 40 до 60 процентов).

Для практического занятия в качестве темы выбирается обычно такая учебная задача, которая предполагает не существенные эвристические и аналитические напряжения и продвижения, а потребность обучающегося «потрогать» материал, опознать в конкретном то общее, о чем говорилось в лекции. Например, при рассмотрении вопросов оплаты труда, мотивации труда и проблем безработицы в России имеет смысл провести практические занятия со следующими сюжетами заданий: «Расчет заработной платы работников предприятия». «Разработка механизма мотивации труда на предприятии N». «В чем причины и особенности безработицы в России?». Последняя тема предполагает уже некоторую аналитическую составляющую. Основная задача первой из этих тем - самим посчитать заработную плату для различных групп работников на примере заданных параметров для конкретного предприятия, т. е. сделать расчеты «как на практике»; второй – дать собственный вариант мотивационной политики для предприятия, учитывая особенности данного объекта, отрасли и т.д.; третьей – опираясь на теоретические знания в области проблем занятости и безработицы, а также статистические материалы, сделать авторские выводы о видах безработицы, характерных для России, и их причинах, а также предложить меры по минимизации безработицы.

Перед проведением занятия должен быть подготовлен специальный материал – тот объект, которым обучающиеся станут оперировать, активизируя свои теоретические (общие) знания и тем самым, приобретая навыки выработки уверенных суждений и осуществления конкретных действий.

Дополнительный материал для практического занятия лучше получить у преподавателя заранее, чтобы у студентов была возможность просмотреть его и подготовить вопросы.

Условия должны быть такими, чтобы каждый мог работать самостоятельно от начала до конца. В аудитории должны быть «под рукой» необходимые справочники и тексты законов и нормативных актов по тематике занятия. Чтобы сделать практическое занятие максимально эффективным, надо заранее подготовить и изучить материал по наиболее интересным и практически важным темам.

Особенности практического занятия с использованием компьютера

Для того чтобы повысить эффективность проведения практического занятия, может использоваться компьютер по следующим направлениям:

- поиск информации в Интернете по поставленной проблеме: в этом случае преподаватель представляет обучающимся перечень рекомендуемых для посещения Интернет-сайтов;
- использование прикладных обучающих программ;
- выполнение заданий с использованием обучающимися заранее установленных преподавателем программ;

- использование программного обеспечения при проведении занятий, связанных с моделированием социально-экономических процессов.

4.Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой дискуссию в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия (от доски смелом до самых современных технических средств), демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не

попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины, Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать,

подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;
- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильнаяорганизация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическаясамостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестноевыполнение заданий;

3) выяснениеи уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально - ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

5. Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа:http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf