

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. проректора по учебно-методической работе  
В. В. Зубов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ  
АСПИРАНТОВ**

**2.1.1 ИСТОРИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ**

Научная специальность  
**1.6.9 Геофизика**

Автор: Гладкова И. В., доцент, канд. филос. н.

Одобрена на заседании кафедры

Философии и культурологии

*(название кафедры)*

Зав.кафедрой

*(подпись)*

Беляев В. П.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 1 от 11.09.2024

*(Дата, номер протокола)*

Рассмотрена методической  
комиссией

Горно-механического факультета

*(название факультета)*

Председатель

*(подпись)*

Осипов П.А.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 2 от 18. 10.2024

*(Дата, номер протокола)*

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3	1	Методические рекомендации по работе с текстом лекций	<b>Ошибка!</b>
<b>Закладка не определена.</b>			
2		Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)	6
3		Методические рекомендации по написанию эссе	9
4		Методические рекомендации по подготовке к дискуссии в рамках семинарского занятия	12
5		Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	14

### Заключение 16 ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа аспиранта - это планируемая учебная, научноисследовательская работа, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, при сохранении ведущей роли студентов.

Целью самостоятельной работы является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками по профилю будущей специальности, опытом творческой, исследовательской деятельности, развитие самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению научных проблем.

Самостоятельная работа аспирантов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа аспирантов 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 аспирантов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

Самостоятельная работа аспирантов - это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение информации и ее логическая переработка;
- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;

- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи; □ представление, обоснование и защита полученного решения; □ проведение самоанализа и самоконтроля.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию: текущие консультации, коллоквиум, прием и разбор домашних заданий и другие.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, научноисследовательская работа аспирантов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия: подготовка презентаций, составление глоссария, подготовка к практическим занятиям, подготовка рецензий, аннотаций на статью, подготовка к дискуссиям, круглым столам.

СРС может включать следующие формы работ:

- изучение лекционного материала;
- работа с источниками литературы: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по заданной проблеме курса;

3

- выполнение заданий, выдаваемых на практических занятиях: тестов, докладов, контрольных работ и других форм текущего контроля;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельное изучение; подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе или коллоквиуму;
- подготовка к зачету, экзамену, другим аттестациям;
- написание реферата, эссе по заданной проблем;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение курсовой работы или проекта;
- анализ научной публикации по определенной преподавателем теме, ее реферирование;
- исследовательская работа и участие в научных конференциях, семинарах и олимпиадах.

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

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online 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 могут быть использованы тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

## 1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

На лекционных занятиях необходимо конспектировать учебный материал. Обращать внимание на формулировки, определения, раскрывающие содержание тех или иных понятий, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском мастерстве. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность аспиранта, и помогает усвоить изучаемый материал.

Желательно оставлять в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений, фиксировать вопросы, вызывающие личный интерес, варианты ответов на них, сомнения, проблемы, спорные положения. Рекомендуется вести записи на одной стороне листа, оставляя вторую сторону для размышлений, разборов, вопросов, ответов на них, для фиксирования деталей темы или связанных с ней фактов, которые припоминаются самим студентом в ходе слушания.

Слушание лекций - сложный вид интеллектуальной деятельности, успех которой обусловлен умением слушать, и стремлением воспринимать материал, нужное записывая в тетрадь. Запись лекции помогает сосредоточить внимание на главном, в ходе самой лекции продумать и осмыслить услышанное, осознать план и логику изложения материала преподавателем.

При конспектировании лекций целесообразно придерживаться ряда правил.

1. После записи ориентирующих и направляющих внимание данных (тема, цель, план лекции, рекомендованная литература) важно проследить, как они раскрываются в содержании, подкрепляются формулировками, доказательствами, а затем и выводами.

2. Записывать следует основные положения и доказывающие их аргументы, наиболее яркие примеры и факты, поставленные преподавателем вопросы для самостоятельной проработки.

3. Стремиться к четкости записи, ее последовательности, выделяя темы, подтемы, вопросы и подвопросы, используя цифровую и буквенную нумерацию (римские и арабские цифры, большие и малые буквы), красные строки, выделение абзацев, подчеркивание главного и т.д.

Форма записи материала может быть различной - в зависимости от специфики изучаемого предмета. Запись лекции лучше вести в сжатой форме, короткими и четкими фразами, полезно выработать свою систему сокращений.

Записанная лекция предполагает дальнейшую самостоятельную работу над ней (осмысление ее содержания, логической структуры, выводов). С целью доработки конспекта лекции необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект. Доработанный конспект и рекомендуемая литература используется при подготовке к практическому занятию. Знание лекционного материала при подготовке к практическому занятию обязательно.

Особенно важно в процессе самостоятельной работы над лекцией выделить новый понятийный аппарат, уяснить суть новых понятий, при необходимости обратиться к словарям и другим источникам, заодно устранив неточности в записях. Работа над лекцией стимулирует самостоятельный поиск ответов на самые различные вопросы: над какими

понятиями следует поработать, какие обобщения сделать, какой дополнительный материал привлечь.

Важным средством, направляющим самообразование, является выполнение различных заданий по тексту лекции, например, составление ее развернутого плана или тезисов; ответы на вопросы проблемного характера, (скажем, об основных тенденциях развития той или иной проблемы); составление проверочных тесты по проблеме, написание по ней реферата, составление графических схем.

В процессе освоения материалов лекций аспиранты могут выполнять задания разного уровня. Например: задания репродуктивного уровня (составить развернутый план обобщающей лекции, составить тезисы по материалам лекции); задания продуктивного уровня (ответить на вопросы проблемного характера, составить опорный конспект по схеме, выявить основные тенденции развития проблемы); задания творческого уровня (составить проверочные тесты по теме, защитить реферат и графические темы по данной проблеме). Обращение к ранее изученному материалу не только помогает восстановить в памяти известные положения, выводы, но и приводит разрозненные знания в систему, углубляет и расширяет их. Каждый возврат к старому материалу позволяет найти в нем что-то новое, переосмыслить его с иных позиций, определить для него наиболее подходящее место в уже имеющейся системе знаний.

## 2. Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

Доклад – публичное сообщение по заданной теме, представляющее собой развернутое изложение на определенную тему, вид самостоятельной работы, который используется в учебных и внеаудиторных занятиях и способствует формированию навыков исследовательской работы, освоению методов научного познания, приобретению навыков публичного выступления, расширяет познавательные интересы, приучает критически мыслить.

При подготовке доклада используется дополнительная литература, систематизируется материал. Работа над докладом не только позволяет приобрести новые знания, но и способствует формированию важных научно-исследовательских навыков самостоятельной работы с научной литературой, что повышает познавательный интерес к научному познанию.

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

- тема доклада предлагается преподавателем;
- иллюстрации (слайды в презентации) должны быть достаточными, но не чрезмерными;
- материалы, которые используются при подготовке доклада-презентации, должны соответствовать научно-методическим требованиям ВУЗа и быть указаны в докладе; - необходимо соблюдать регламент: 15-20 минут выступления.

Преподаватель может дать тему сразу нескольким спирантам одной группы, по принципу: докладчик и оппонент. Можно подготовить два выступления с противоположными точками зрения и устроить дискуссию по проблемной теме. Докладчики и содокладчики во многом определяют содержание, стиль, активность данного занятия, для этого необходимо:

- использовать технические средства;
- знать и хорошо ориентироваться в теме всей презентации (семинара);
- уметь дискутировать и быстро отвечать на вопросы;
- четко выполнять установленный регламент: докладчик - 7-10 мин.; содокладчик - 5 мин.; дискуссия - 10 мин;
- иметь представление о композиционной структуре доклада.

После выступления докладчик и содокладчик, должны ответить на вопросы слушателей.

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

1. Определение цели доклада: информировать, объяснить, обсудить что-то (проблему, решение, ситуацию и т. п.)
2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.
3. Составление плана доклада, систематизация материала, композиционное оформление доклада в виде печатного /рукописного текста и электронной презентации.

Общая структура доклада

Построение доклада включает три части: вступление, основную часть и заключение. Вступление.

Вступление должно содержать:

- название презентации (доклада);
- сообщение основной идеи;
- обоснование актуальности обсуждаемого вопроса;
- современную оценку предмета изложения;
- краткое перечисление рассматриваемых вопросов;
- живую интересную форму изложения;
- акцентирование оригинальности подхода.

Основная часть.

Основная часть состоит из нескольких разделов, постепенно раскрывающих тему. Возможно использование иллюстрации (графики, диаграммы, фотографии, карты, рисунки). Если необходимо, для обоснования темы используется ссылка на источники с доказательствами, взятыми из литературы (цитирование авторов, указание цифр, фактов, определений). Изложение материала должно быть связным, последовательным, доказательным.

Задача основной части - представить достаточно данных для того, чтобы слушатели и заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудио-визуальных и визуальных материалов.

Заключение.

Заключение - это ясное четкое обобщение, в котором подводятся итоги, формулируются главные выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы, предлагаются самые важные практические рекомендации. Требования к оформлению доклада. Объем машинописного текста доклада должен быть рассчитан на произнесение доклада в течение 7 -10 минут (3-5 машинописных листа текста с докладом). Доклад оценивается по следующим критериям:

Критерии оценки доклада, сообщения	Количество баллов
Содержательность, информационная насыщенность доклада	1
Наличие аргументов	1
Наличие выводов	1
Наличие презентации доклада	1
Владение профессиональной лексикой	1
Итого:	5

Электронные презентации выполняются в программе MS PowerPoint в виде слайдов в следующем порядке: • титульный лист с заголовком темы и автором исполнения презентации; • план презентации (5-6 пунктов - это максимум); • основная часть (не более 10 слайдов); • заключение (вывод). Общие требования к стилевому оформлению презентации: • дизайн должен быть простым и лаконичным; • основная цель - читаемость, а не субъективная красота; цветовая гамма должна состоять не более чем из двух-трех цветов;  всегда должно быть два типа слайдов: для титульных и для основного текста;  размер шрифта должен быть: 24–54 пункта (заголовки), 18–36 пунктов (обычный текст);

текст должен быть свернут до ключевых слов и фраз. Полные развернутые предложения на слайдах таких презентаций используются только при цитировании; каждый слайд должен иметь заголовок;  все слайды должны быть выдержаны в одном стиле;  на каждом слайде должно быть не более трех иллюстраций;  слайды должны быть пронумерованы с указанием общего количества слайдов

### 3. Методические рекомендации по написанию эссе

Эссе - это самостоятельная письменная работа на тему, предложенную преподавателем. Цель эссе состоит в развитии навыков самостоятельного творческого мышления и письменного изложения собственных мыслей. Написание эссе позволяет автору научиться четко и грамотно формулировать мысли, структурировать информацию, использовать основные категории анализа, выделять причинно-следственные связи, иллюстрировать понятия соответствующими примерами, аргументировать свои выводы; овладеть научным стилем речи.

Эссе должно содержать: четкое изложение сути поставленной проблемы, включать самостоятельно проведенный анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария, рассматриваемого в рамках дисциплины, выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. В зависимости от специфики дисциплины формы эссе могут значительно дифференцироваться. В некоторых случаях это может быть анализ имеющихся статистических данных по изучаемой проблеме, анализ материалов из средств массовой информации и использованием изучаемых моделей, подробный разбор предложенной задачи с развернутыми мнениями, подбор и детальный анализ примеров, иллюстрирующих проблему и т.д. Построение эссе - это ответ на вопрос или раскрытие темы, которое основано на классической системе доказательств.

#### Структура эссе

1. Введение - суть и обоснование выбора данной темы, состоит из ряда компонентов, связанных логически и стилистически.

На этом этапе очень важно правильно сформулировать вопрос, на который вы собираетесь найти ответ в ходе своего исследования.

2. Основная часть - теоретические основы выбранной проблемы и изложение основного вопроса.

Данная часть предполагает развитие аргументации и анализа, а также обоснование их, исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. В этом заключается основное содержание эссе и это представляет собой главную трудность. Поэтому важное значение имеют подзаголовки, на основе которых осуществляется структурирование аргументации; именно здесь необходимо обосновать (логически, используя данные или строгие рассуждения) предлагаемую аргументацию/анализ. Там, где это необходимо, в качестве аналитического инструмента можно использовать графики, диаграммы и таблицы.

В зависимости от поставленного вопроса анализ проводится на основе следующих категорий:

Причина - следствие, общее - особенное, форма - содержание, часть - целое, постоянство - изменчивость.

В процессе построения эссе необходимо помнить, что один параграф должен содержать только одно утверждение и соответствующее доказательство, подкрепленное графическим и иллюстративным материалом. Следовательно, наполняя содержанием разделы аргументацией (соответствующей подзаголовкам), необходимо в пределах параграфа ограничить себя рассмотрением одной главной мысли.

3. Заключение - обобщения и аргументированные выводы по теме с указанием области ее применения и т.д. Подытоживает эссе или еще раз вносит пояснения, подкрепляет смысл и значение изложенного в основной части. Методы, рекомендуемые для составления заключения: повторение, иллюстрация, цитата, впечатляющее утверждение. Заключение может содержать такой очень важный, дополняющий эссе элемент, как

указание на применение (импликацию) исследования, не исключая взаимосвязи с другими проблемами.

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

Доказательство - это совокупность логических приемов обоснования истинности какого-либо суждения с помощью других истинных и связанных с ним суждений. Оно связано с убеждением, но не тождественно ему; доказательство или аргументация - это рассуждение, использующее факты, истинные суждения, научные данные и убеждающее нас в истинности того, о чем идет речь.

Структура любого доказательства включает в себя три составляющие: тезис, аргументы и выводы или оценочные суждения.

Тезис - это положение (суждение), которое требуется доказать. Аргументы - это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса. Вывод - это мнение, основанное на анализе фактов. Оценочные суждения - это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах. Аргументы обычно делятся на следующие группы:

1. Удостоверенные факты — фактический материал (или статистические данные).
2. Определения в процессе аргументации используются как описание понятий, связанных с тезисом.
3. Законы науки и ранее доказанные теоремы тоже могут использоваться как аргументы доказательства.

Требования к фактическим данным и другим источникам

При написании эссе чрезвычайно важно то, как используются эмпирические данные и другие источники. Соответствующая спецификация данных по времени и месту — один из способов, который может предотвратить чрезмерное обобщение, результатом которого может, например, стать предположение о том, что все страны по некоторым важным аспектам одинаковы, если автор так полагает, тогда это должно быть доказано, а не быть голословным утверждением.

Всегда можно избежать чрезмерного обобщения, если помнить, что в рамках эссе используемые данные являются иллюстративным материалом, а не заключительным актом, т.е. они подтверждают аргументы и рассуждения и свидетельствуют о том, что автор умеет использовать данные должным образом. Данные, касающиеся спорных вопросов, всегда подвергаются сомнению. От автора не ждут определенного или окончательного ответа. Необходимо понять сущность фактического материала, связанного с этим вопросом (соответствующие индикаторы? насколько надежны данные для построения таких индикаторов? к какому заключению можно прийти на основании имеющихся данных и индикаторов относительно причин и следствий? и т.д.), и продемонстрировать это в эссе. Нельзя ссылаться на работы, которые автор эссе не читал сам.

Как подготовить и написать эссе?

Качество любого эссе зависит от трех взаимосвязанных составляющих, таких как:

1. Исходный материал, который будет использован (конспекты прочитанной литературы, лекций, записи результатов дискуссий, собственные соображения и накопленный опыт по данной проблеме).
2. Качество обработки имеющегося исходного материала (его организация, аргументация и доводы).
3. Аргументация (насколько точно она соотносится с поднятыми в эссе проблемами).

Процесс написания эссе можно разбить на несколько стадий: обдумывание - планирование - написание - проверка - правка.

Планирование - определение цели, основных идей, источников информации, сроков окончания и представления работы.

Цель должна определять действия.

Идеи, как и цели, могут быть конкретными и общими, более абстрактными. Мысли, чувства, взгляды и представления могут быть выражены в форме аналогий, ассоциации, предположений, рассуждений, суждений, аргументов, доводов и т.д.

Аналогии - выявление идеи и создание представлений, связь элементов значений.

Ассоциации - отражение взаимосвязей предметов и явлений действительности в форме закономерной связи между нервно - психическими явлениями (в ответ на тот или иной словесный стимул выдать «первую пришедшую в голову» реакцию).

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

Аргументация - ряд связанных между собой суждений, которые высказываются для того, чтобы убедить читателя (слушателя) в верности (истинности) тезиса, точки зрения, позиции.

Суждение - фраза или предложение, для которого имеет смысл вопрос: истинно или ложно?

Доводы - обоснование того, что заключение верно абсолютно или с какой-либо долей вероятности. В качестве доводов используются факты, ссылки на авторитеты, заведомо истинные суждения (законы, аксиомы и т.п.), доказательства (прямые, косвенные, «от противного», «методом исключения») и т.д.

Перечень, который получится в результате перечисления идей, поможет определить, какие из них нуждаются в особенной аргументации.

Источники. Тема эссе подскажет, где искать нужный материал. Обычно пользуются библиотекой, Интернет-ресурсами, словарями, справочниками. Пересмотр означает редактирование текста с ориентацией на качество и эффективность.

Качество текста складывается из четырех основных компонентов: ясности мысли, внятности, грамотности и корректности.

Мысль - это содержание написанного. Необходимо четко и ясно формулировать идеи, которые хотите выразить, в противном случае вам не удастся донести эти идеи и сведения до окружающих.

Внятность - это доступность текста для понимания. Легче всего ее можно достичь, пользуясь логично и последовательно тщательно выбранными словами, фразами и взаимосвязанными абзацами, раскрывающими тему.

Грамотность отражает соблюдение норм грамматики и правописания. Если в чем-то сомневаетесь, загляните в учебник, справьтесь в словаре или руководстве по стилистике или дайте прочесть написанное человеку, чья манера писать вам нравится.

Корректность — это стиль написанного. Стиль определяется жанром, структурой работы, целями, которые ставит перед собой пишущий, читателями, к которым он обращается.

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, аргументировано и ясно излагать обсуждаемые вопросы.

Современная практика предлагает широкий круг типов семинарских занятий. Среди них особое место занимает семинар-дискуссия, где в диалоге хорошо усваивается новая информация, видны убеждения студента, обсуждаются противоречия (явные и скрытые) и недостатки. Для обсуждения берутся конкретные актуальные вопросы, с которыми студенты предварительно ознакомлены. Дискуссия (от лат. *discussio* - рассмотрение, исследование) - способ организации совместной деятельности с целью интенсификации процесса принятия решений в группе посредством обсуждения какого-либо вопроса или проблемы. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления оппонентов.

Дискуссия обеспечивает активное включение студентов в поиск истины; создает условия для открытого выражения ими своих мыслей, позиций, отношений к обсуждаемой теме и обладает особой возможностью воздействия на установки ее участников в процессе группового взаимодействия. Дискуссию можно рассматривать как метод интерактивного обучения и как особую технологию, включающую в себя другие методы и приемы обучения: «мозговой штурм», «анализ ситуаций» и т.д.

Дискуссия является одной из наиболее эффективных технологий группового взаимодействия, обладающей особыми возможностями в обучении, развитии и воспитании будущего специалиста. Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

Обучающий эффект дискуссии определяется предоставляемой участнику возможностью получить разнообразную информацию от собеседников, продемонстрировать и повысить свою компетентность, проверить и уточнить свои представления и взгляды на обсуждаемую проблему, применить имеющиеся знания в процессе совместного решения учебных и профессиональных задач.

Развивающая функция дискуссии связана со стимулированием творчества обучающихся, развитием их способности к анализу информации и аргументированному, логически выстроенному доказательству своих идей и взглядов, с повышением коммуникативной активности студентов, их эмоциональной включенности в учебный процесс.

Влияние дискуссии на личностное становление аспиранта обуславливается ее целостно - ориентирующей направленностью, созданием благоприятных условий для проявления индивидуальности, самоопределения в существующих точках зрения на определенную проблему, выбора своей позиции; для формирования умения взаимодействовать с другими, слушать и слышать окружающих, уважать чужие убеждения, принимать оппонента, находить

точки соприкосновения, соотносить и согласовывать свою позицию с позициями других участников обсуждения.

Наличие оппонентов, противоположных точек зрения всегда обостряет дискуссию, повышает ее продуктивность, позволяет создавать с их помощью конструктивный конфликт для более эффективного решения обсуждаемых проблем.

Существует несколько видов дискуссий, использование того или иного типа дискуссии зависит от характера обсуждаемой проблемы и целей дискуссии.

Дискуссия- диалог чаще всего применяется для совместного обсуждения учебных и производственных проблем, решение которых может быть достигнуто путем взаимодополнения, группового взаимодействия по принципу «индивидуальных вкладов» или на основе согласования различных точек зрения, достижения консенсуса.

Дискуссия - спор используется для всестороннего рассмотрения сложных проблем, не имеющих однозначного решения даже в науке, социальной, политической жизни, производственной практике и т.д. Она построена на принципе «позиционного противостояния» и ее цель - не столько решить проблему, сколько побудить участников дискуссии задуматься над проблемой, уточнить и определить свою позицию; научить аргументировано отстаивать свою точку зрения и в то же время осознать право других иметь свой взгляд на эту проблему, быть индивидуальностью.

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,
- свободное владение материалом, привлечение различных источников для аргументации отстаиваемых положений;
- правильное употребление понятий, используемых в дискуссии, их единообразное понимание;
- корректность поведения, недопустимость высказываний, задевающих личность оппонента; установление регламента выступления участников;
- полная включенность группы в дискуссию, участие каждого студента в ней.

Подготовка аспирантов к дискуссии: если тема объявлена заранее, то следует ознакомиться с указанной литературой, необходимыми справочными материалами, продумать свою позицию, четко сформулировать аргументацию, выписать цитаты, мнения специалистов.

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

Этап 1-й, введение в дискуссию: формулирование проблемы и целей дискуссии; определение значимости проблемы, совместная выработка правил дискуссии; выяснение однозначности понимания темы дискуссии, используемых в ней терминов, понятий.

Этап 2-й, обсуждение проблемы: обмен участниками мнениями по каждому вопросу. Цель этапа - собрать максимум мнений, идей, предложений, соотнося их друг с другом.

Этап 3-й, подведение итогов обсуждения: выработка согласованного мнения и принятие группового решения.

Далее подводятся итоги дискуссии, заслушиваются и защищаются проектные задания. После этого проводится "мозговой штурм" по нерешенным проблемам дискуссии, а также выявляются прикладные аспекты, которые можно рекомендовать для включения в курсовые и дипломные работы или в апробацию на практике.

Семинары-дискуссии проводятся с целью выявления мнения аспирантов по актуальным и проблемным вопросам.

## 5. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

При подготовке к экзамену приводятся в систему знания, полученные на лекциях и практических занятиях, и тогда изучаемая дисциплина может быть воспринята в полном объеме ее научной значимости и практической направленности.

При подготовке к экзамену не только дорабатывается материал дисциплины, но и обобщаются полученные знания, осмысливается методология предмета, его система.

Экзамену предшествует защита реферата.

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.

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, создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например.

При подготовке к экзамену основное направление дают программа учебной дисциплины и конспект лекций, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основным материалом должен прорабатываться по учебнику и учебным пособиям.

Перед экзаменом назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации можно получить ответ на неясные вопросы, а для этого до консультации должны быть проработаны 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, фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. 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.

Основные рекомендации по подготовке к сдаче экзамена:

- лучшая подготовка к экзамену - равномерная работа в течение всего семестра;
- использовать программу учебной дисциплины - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывать, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составлять планы работы во времени; работать равномерно и ритмично;
- помнить, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделять трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно использовать консультации;
- учиться точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логикографическими схемами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы аспирантов являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Таким образом, используя методические указания, можно в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

- 1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;
- 2) добросовестное выполнение заданий;
- 3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;
- 4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам;
- 5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области изучаемой дисциплины;
- 6) проведение собственных научных исследований по актуальным проблемам;
- 7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе научных обществ, круглых столов.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Уральский государственный горный университет»



**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. проректора по учебно-методической работе  
В. В. Зубов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ**

**Б1.Б.02 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК**

Направление подготовки

**1.6.9 Геофизика**

год набора: 2022

форма обучения: очная, заочная

Автор: Удачина Н. А. ст. преподаватель, Юсупова Л.Г., к.п.н., доцент

Одобрена на заседании кафедры

*Иностранных языков и деловой  
коммуникации*  
(название кафедры)

Зав.кафедрой

*(подпись)*  
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.  
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 10.09.2024  
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

факультета геологии и геофизики

(название факультета)

Председатель

*(подпись)*  
Вандышева К. В.  
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 10.09.2024  
(Дата)

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТА.....	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) <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....	7
Подготовка к зачёту .....	7
Подготовка к экзамену.....	8

## ВВЕДЕНИЕ

*Самостоятельная работа аспирантов* – это разнообразные виды деятельности аспирантов, 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 аспирантов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где аспирантам 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 аспиранта 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 аспирантов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности аспирантов: 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 аспирантов, 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 аспирантами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

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

## **ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТА**

Основные формы организации самостоятельной работы аспирантов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности аспирантов;
- необходимость упорядочения нагрузки аспирантов 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 аспирантов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

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

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

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов 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 аспирантов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов 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 аспиранта 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 аспиранта, 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 аспирантов 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 аспиранта, 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 аспирантов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы аспиранта, 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 аспиранта, 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 аспиранта 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.

## **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 РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. проректора по учебно-методической работе  
В. В. Зубов

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ АСПИРАНТОВ

### 2.1.4 МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### Научная специальность

#### 1.6.9 Геофизика

Авторы: Беляев В.П., доц., к.ф.н.; Луньков А.С., доц., к.и.н.

Одобрена на заседании кафедры

Рассмотрена методической  
комиссией

Философии и культурологии

Инженерно-экономического  
факультета

*(название кафедры)*

*(название факультета)*

Зав.кафедрой

Председатель

*(подпись)*

*(подпись)*

Беляев В. П.

Осипов П. А.

*(Фамилия И.О.)*

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 5 от 28.01.2022

Протокол № 2 от 18. 10.2024

*(Дата, номер протокола)*

*(Дата, номер протокола)*

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3	1	Методические рекомендации по работе с текстом лекций	<b>Закладка не определена.</b>
2	Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)	6		
3	Методические рекомендации по написанию эссе	9		
4	Методические рекомендации по подготовке к дискуссии в рамках семинарского занятия	12		
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	14		
Заключение		16		

### ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа аспиранта - это планируемая учебная, научноисследовательская работа, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, при сохранении ведущей роли студентов.

Целью самостоятельной работы является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками по профилю будущей специальности, опытом творческой, исследовательской деятельности, развитие самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению научных проблем.

Самостоятельная работа аспирантов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа аспирантов 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 аспирантов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

Самостоятельная работа аспирантов - это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение информации и ее логическая переработка;

- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи; □ представление, обоснование и защита полученного решения; □ проведение самоанализа и самоконтроля.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию: текущие консультации, коллоквиум, прием и разбор домашних заданий и другие.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, научноисследовательская работа аспирантов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия: подготовка презентаций, составление глоссария, подготовка к практическим занятиям, подготовка рецензий, аннотаций на статью, подготовка к дискуссиям, круглым столам.

СРС может включать следующие формы работ:

- изучение лекционного материала;
- работа с источниками литературы: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по заданной проблеме курса;

3

- выполнение заданий, выдаваемых на практических занятиях: тестов, докладов, контрольных работ и других форм текущего контроля;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельное изучение; подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе или коллоквиуму;
- подготовка к зачету, экзамену, другим аттестациям;
- написание реферата, эссе по заданной проблем;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение выполнения курсовой работы или проекта;
- анализ научной публикации по определенной преподавателем теме, ее реферирование;
- исследовательская работа и участие в научных конференциях, семинарах и олимпиадах.

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

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online 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 могут быть использованы тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

## 1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

На лекционных занятиях необходимо конспектировать учебный материал. Обращать внимание на формулировки, определения, раскрывающие содержание тех или иных понятий, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском мастерстве. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность аспиранта, и помогает усвоить изучаемый материал.

Желательно оставлять в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений, фиксировать вопросы, вызывающие личный интерес, варианты ответов на них, сомнения, проблемы, спорные положения. Рекомендуется вести записи на одной стороне листа, оставляя вторую сторону для размышлений, разборов, вопросов, ответов на них, для фиксирования деталей темы или связанных с ней фактов, которые припоминаются самим студентом в ходе слушания.

Слушание лекций - сложный вид интеллектуальной деятельности, успех которой обусловлен умением слушать, и стремлением воспринимать материал, нужное записывая в тетрадь. Запись лекции помогает сосредоточить внимание на главном, в ходе самой лекции продумать и осмыслить услышанное, осознать план и логику изложения материала преподавателем.

При конспектировании лекций целесообразно придерживаться ряда правил.

1. После записи ориентирующих и направляющих внимание данных (тема, цель, план лекции, рекомендованная литература) важно проследить, как они раскрываются в содержании, подкрепляются формулировками, доказательствами, а затем и выводами.

2. Записывать следует основные положения и доказывающие их аргументы, наиболее яркие примеры и факты, поставленные преподавателем вопросы для самостоятельной проработки.

3. Стремиться к четкости записи, ее последовательности, выделяя темы, подтемы, вопросы и подвопросы, используя цифровую и буквенную нумерацию (римские и арабские цифры, большие и малые буквы), красные строки, выделение абзацев, подчеркивание главного и т.д.

Форма записи материала может быть различной - в зависимости от специфики изучаемого предмета. Запись лекции лучше вести в сжатой форме, короткими и четкими фразами, полезно выработать свою систему сокращений.

Записанная лекция предполагает дальнейшую самостоятельную работу над ней (осмысление ее содержания, логической структуры, выводов). С целью доработки конспекта лекции необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект. Доработанный конспект и рекомендуемая литература используется при подготовке к практическому занятию. Знание лекционного материала при подготовке к практическому занятию обязательно.

Особенно важно в процессе самостоятельной работы над лекцией выделить новый понятийный аппарат, уяснить суть новых понятий, при необходимости обратиться к словарям и другим источникам, заодно устранив неточности в записях. Работа над лекцией стимулирует самостоятельный поиск ответов на самые различные вопросы: над какими

понятиями следует поработать, какие обобщения сделать, какой дополнительный материал привлечь.

Важным средством, направляющим самообразование, является выполнение различных заданий по тексту лекции, например, составление ее развернутого плана или тезисов; ответы на вопросы проблемного характера, (скажем, об основных тенденциях развития той или иной проблемы); составление проверочных тесты по проблеме, написание по ней реферата, составление графических схем.

В процессе освоения материалов лекций аспиранты могут выполнять задания разного уровня. Например: задания репродуктивного уровня (составить развернутый план обобщающей лекции, составить тезисы по материалам лекции); задания продуктивного уровня (ответить на вопросы проблемного характера, составить опорный конспект по схеме, выявить основные тенденции развития проблемы); задания творческого уровня (составить проверочные тесты по теме, защитить реферат и графические темы по данной проблеме). Обращение к ранее изученному материалу не только помогает восстановить в памяти известные положения, выводы, но и приводит разрозненные знания в систему, углубляет и расширяет их. Каждый возврат к старому материалу позволяет найти в нем что-то новое, переосмыслить его с иных позиций, определить для него наиболее подходящее место в уже имеющейся системе знаний.

## 2. Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

Доклад – публичное сообщение по заданной теме, представляющее собой развернутое изложение на определенную тему, вид самостоятельной работы, который используется в учебных и внеаудиторных занятиях и способствует формированию навыков исследовательской работы, освоению методов научного познания, приобретению навыков публичного выступления, расширяет познавательные интересы, приучает критически мыслить.

При подготовке доклада используется дополнительная литература, систематизируется материал. Работа над докладом не только позволяет приобрести новые знания, но и способствует формированию важных научно-исследовательских навыков самостоятельной работы с научной литературой, что повышает познавательный интерес к научному познанию.

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

- тема доклада предлагается преподавателем;
- иллюстрации (слайды в презентации) должны быть достаточными, но не чрезмерными;
- материалы, которые используются при подготовке доклада-презентации, должны соответствовать научно-методическим требованиям ВУЗа и быть указаны в докладе; - необходимо соблюдать регламент: 15-20 минут выступления.

Преподаватель может дать тему сразу нескольким спирантам одной группы, по принципу: докладчик и оппонент. Можно подготовить два выступления с противоположными точками зрения и устроить дискуссию по проблемной теме. Докладчики и содокладчики во многом определяют содержание, стиль, активность данного занятия, для этого необходимо:

- использовать технические средства;
- знать и хорошо ориентироваться в теме всей презентации (семинара);
- уметь дискутировать и быстро отвечать на вопросы;
- четко выполнять установленный регламент: докладчик - 7-10 мин.; содокладчик - 5 мин.; дискуссия - 10 мин;
- иметь представление о композиционной структуре доклада.

После выступления докладчик и содокладчик, должны ответить на вопросы слушателей.

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

1. Определение цели доклада: информировать, объяснить, обсудить что-то (проблему, решение, ситуацию и т. п.)
2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.
3. Составление плана доклада, систематизация материала, композиционное оформление доклада в виде печатного /рукописного текста и электронной презентации.

Общая структура доклада

Построение доклада включает три части: вступление, основную часть и заключение. Вступление.

Вступление должно содержать:

- название презентации (доклада);
- сообщение основной идеи;
- обоснование актуальности обсуждаемого вопроса;
- современную оценку предмета изложения;
- краткое перечисление рассматриваемых вопросов;
- живую интересную форму изложения;
- акцентирование оригинальности подхода.

Основная часть.

Основная часть состоит из нескольких разделов, постепенно раскрывающих тему. Возможно использование иллюстрации (графики, диаграммы, фотографии, карты, рисунки) Если необходимо, для обоснования темы используется ссылка на источники с доказательствами, взятыми из литературы (цитирование авторов, указание цифр, фактов, определений). Изложение материала должно быть связным, последовательным, доказательным.

Задача основной части - представить достаточно данных для того, чтобы слушатели и заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудио-визуальных и визуальных материалов.

Заключение.

Заключение - это ясное четкое обобщение, в котором подводятся итоги, формулируются главные выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы, предлагаются самые важные практические рекомендации. Требования к оформлению доклада. Объем машинописного текста доклада должен быть рассчитан на произнесение доклада в течение 7 -10 минут (3-5 машинописных листа текста с докладом). Доклад оценивается по следующим критериям:

Критерии оценки доклада, сообщения	Количество баллов
Содержательность, информационная насыщенность доклада	1
Наличие аргументов	1
Наличие выводов	1
Наличие презентации доклада	1
Владение профессиональной лексикой	1
Итого:	5

Электронные презентации выполняются в программе MS PowerPoint в виде слайдов в следующем порядке: • титульный лист с заголовком темы и автором исполнения презентации; • план презентации (5-6 пунктов - это максимум); • основная часть (не более 10 слайдов); • заключение (вывод). Общие требования к стилевому оформлению презентации: • дизайн должен быть простым и лаконичным; • основная цель - читаемость, а не субъективная красота; цветовая гамма должна состоять не более чем из двух-трех цветов;  всегда должно быть два типа слайдов: для титульных и для основного текста;  размер шрифта должен быть: 24–54 пункта (заголовки), 18–36 пунктов (обычный текст);

текст должен быть свернут до ключевых слов и фраз. Полные развернутые предложения на слайдах таких презентаций используются только при цитировании; каждый слайд должен иметь заголовок;  все слайды должны быть выдержаны в одном стиле;  на каждом слайде должно быть не более трех иллюстраций;  слайды должны быть пронумерованы с указанием общего количества слайдов

### 3 Методические рекомендации по написанию эссе

Эссе - это самостоятельная письменная работа на тему, предложенную преподавателем. Цель эссе состоит в развитии навыков самостоятельного творческого мышления и письменного изложения собственных мыслей. Написание эссе позволяет автору научиться четко и грамотно формулировать мысли, структурировать информацию, использовать основные категории анализа, выделять причинно-следственные связи, иллюстрировать понятия соответствующими примерами, аргументировать свои выводы; овладеть научным стилем речи.

Эссе должно содержать: четкое изложение сути поставленной проблемы, включить самостоятельно проведенный анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария, рассматриваемого в рамках дисциплины, выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. В зависимости от специфики дисциплины формы эссе могут значительно дифференцироваться. В некоторых случаях это может быть анализ имеющихся статистических данных по изучаемой проблеме, анализ материалов из средств массовой информации и использованием изучаемых моделей, подробный разбор предложенной задачи с развернутыми мнениями, подбор и детальный анализ примеров, иллюстрирующих проблему и т.д. Построение эссе - это ответ на вопрос или раскрытие темы, которое основано на классической системе доказательств.

#### Структура эссе

1. Введение - суть и обоснование выбора данной темы, состоит из ряда компонентов, связанных логически и стилистически.

На этом этапе очень важно правильно сформулировать вопрос, на который вы собираетесь найти ответ в ходе своего исследования.

2. Основная часть - теоретические основы выбранной проблемы и изложение основного вопроса.

Данная часть предполагает развитие аргументации и анализа, а также обоснование их, исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. В этом заключается основное содержание эссе и это представляет собой главную трудность. Поэтому важное значение имеют подзаголовки, на основе которых осуществляется структурирование аргументации; именно здесь необходимо обосновать (логически, используя данные или строгие рассуждения) предлагаемую аргументацию/анализ. Там, где это необходимо, в качестве аналитического инструмента можно использовать графики, диаграммы и таблицы.

В зависимости от поставленного вопроса анализ проводится на основе следующих категорий:

Причина - следствие, общее - особенное, форма - содержание, часть - целое, постоянство - изменчивость.

В процессе построения эссе необходимо помнить, что один параграф должен содержать только одно утверждение и соответствующее доказательство, подкрепленное графическим и иллюстративным материалом. Следовательно, наполняя содержанием разделы аргументацией (соответствующей подзаголовкам), необходимо в пределах параграфа ограничить себя рассмотрением одной главной мысли.

3. Заключение - обобщения и аргументированные выводы по теме с указанием области ее применения и т.д. Подытоживает эссе или еще раз вносит пояснения, подкрепляет смысл и значение изложенного в основной части. Методы, рекомендуемые для составления заключения: повторение, иллюстрация, цитата, впечатляющее утверждение. Заключение может содержать такой очень важный, дополняющий эссе элемент, как

указание на применение (импликацию) исследования, не исключая взаимосвязи с другими проблемами.

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

Доказательство - это совокупность логических приемов обоснования истинности какого-либо суждения с помощью других истинных и связанных с ним суждений. Оно связано с убеждением, но не тождественно ему; доказательство или аргументация - это рассуждение, использующее факты, истинные суждения, научные данные и убеждающее нас в истинности того, о чем идет речь.

Структура любого доказательства включает в себя три составляющие: тезис, аргументы и выводы или оценочные суждения.

Тезис - это положение (суждение), которое требуется доказать. Аргументы - это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса. Вывод - это мнение, основанное на анализе фактов. Оценочные суждения - это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах. Аргументы обычно делятся на следующие группы:

1. Удостоверенные факты — фактический материал (или статистические данные).
2. Определения в процессе аргументации используются как описание понятий, связанных с тезисом.
3. Законы науки и ранее доказанные теоремы тоже могут использоваться как аргументы доказательства.

Требования к фактическим данным и другим источникам

При написании эссе чрезвычайно важно то, как используются эмпирические данные и другие источники. Соответствующая спецификация данных по времени и месту — один из способов, который может предотвратить чрезмерное обобщение, результатом которого может, например, стать предположение о том, что все страны по некоторым важным аспектам одинаковы, если автор так полагает, тогда это должно быть доказано, а не быть голословным утверждением.

Всегда можно избежать чрезмерного обобщения, если помнить, что в рамках эссе используемые данные являются иллюстративным материалом, а не заключительным актом, т.е. они подтверждают аргументы и рассуждения и свидетельствуют о том, что автор умеет использовать данные должным образом. Данные, касающиеся спорных вопросов, всегда подвергаются сомнению. От автора не ждут определенного или окончательного ответа. Необходимо понять сущность фактического материала, связанного с этим вопросом (соответствующие индикаторы? насколько надежны данные для построения таких индикаторов? к какому заключению можно прийти на основании имеющихся данных и индикаторов относительно причин и следствий? и т.д.), и продемонстрировать это в эссе. Нельзя ссылаться на работы, которые автор эссе не читал сам.

Как подготовить и написать эссе?

Качество любого эссе зависит от трех взаимосвязанных составляющих, таких как:

1. Исходный материал, который будет использован (конспекты прочитанной литературы, лекций, записи результатов дискуссий, собственные соображения и накопленный опыт по данной проблеме).
2. Качество обработки имеющегося исходного материала (его организация, аргументация и доводы).
3. Аргументация (насколько точно она соотносится с поднятыми в эссе проблемами).

Процесс написания эссе можно разбить на несколько стадий: обдумывание - планирование - написание - проверка - правка.

Планирование - определение цели, основных идей, источников информации, сроков окончания и представления работы.

Цель должна определять действия.

Идеи, как и цели, могут быть конкретными и общими, более абстрактными. Мысли, чувства, взгляды и представления могут быть выражены в форме аналогий, ассоциации, предположений, рассуждений, суждений, аргументов, доводов и т.д.

Аналогии - выявление идеи и создание представлений, связь элементов значений.

Ассоциации - отражение взаимосвязей предметов и явлений действительности в форме закономерной связи между нервно - психическими явлениями (в ответ на тот или иной словесный стимул выдать «первую пришедшую в голову» реакцию).

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

Аргументация - ряд связанных между собой суждений, которые высказываются для того, чтобы убедить читателя (слушателя) в верности (истинности) тезиса, точки зрения, позиции.

Суждение - фраза или предложение, для которого имеет смысл вопрос: истинно или ложно?

Доводы - обоснование того, что заключение верно абсолютно или с какой-либо долей вероятности. В качестве доводов используются факты, ссылки на авторитеты, заведомо истинные суждения (законы, аксиомы и т.п.), доказательства (прямые, косвенные, «от противного», «методом исключения») и т.д.

Перечень, который получится в результате перечисления идей, поможет определить, какие из них нуждаются в особенной аргументации.

Источники. Тема эссе подскажет, где искать нужный материал. Обычно пользуются библиотекой, Интернет-ресурсами, словарями, справочниками. Пересмотр означает редактирование текста с ориентацией на качество и эффективность.

Качество текста складывается из четырех основных компонентов: ясности мысли, внятности, грамотности и корректности.

Мысль - это содержание написанного. Необходимо четко и ясно формулировать идеи, которые хотите выразить, в противном случае вам не удастся донести эти идеи и сведения до окружающих.

Внятность - это доступность текста для понимания. Легче всего ее можно достичь, пользуясь логично и последовательно тщательно выбранными словами, фразами и взаимосвязанными абзацами, раскрывающими тему.

Грамотность отражает соблюдение норм грамматики и правописания. Если в чем-то сомневаетесь, загляните в учебник, справьтесь в словаре или руководстве по стилистике или дайте прочесть написанное человеку, чья манера писать вам нравится.

Корректность — это стиль написанного. Стиль определяется жанром, структурой работы, целями, которые ставит перед собой пишущий, читателями, к которым он обращается.

### 3. Методические рекомендации по подготовке к дискуссии в рамках семинарского занятия

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, аргументировано и ясно излагать обсуждаемые вопросы.

Современная практика предлагает широкий круг типов семинарских занятий. Среди них особое место занимает семинар-дискуссия, где в диалоге хорошо усваивается новая информация, видны убеждения студента, обсуждаются противоречия (явные и скрытые) и недостатки. Для обсуждения берутся конкретные актуальные вопросы, с которыми студенты предварительно ознакомлены. Дискуссия (от лат. *discussio* - рассмотрение, исследование) - способ организации совместной деятельности с целью интенсификации процесса принятия решений в группе посредством обсуждения какого-либо вопроса или проблемы. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления оппонентов.

Дискуссия обеспечивает активное включение студентов в поиск истины; создает условия для открытого выражения ими своих мыслей, позиций, отношений к обсуждаемой теме и обладает особой возможностью воздействия на установки ее участников в процессе группового взаимодействия. Дискуссию можно рассматривать как метод интерактивного обучения и как особую технологию, включающую в себя другие методы и приемы обучения: «мозговой штурм», «анализ ситуаций» и т.д.

Дискуссия является одной из наиболее эффективных технологий группового взаимодействия, обладающей особыми возможностями в обучении, развитии и воспитании будущего специалиста. Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

Обучающий эффект дискуссии определяется предоставляемой участнику возможностью получить разнообразную информацию от собеседников, продемонстрировать и повысить свою компетентность, проверить и уточнить свои представления и взгляды на обсуждаемую проблему, применить имеющиеся знания в процессе совместного решения учебных и профессиональных задач.

Развивающая функция дискуссии связана со стимулированием творчества обучающихся, развитием их способности к анализу информации и аргументированному, логически выстроенному доказательству своих идей и взглядов, с повышением коммуникативной активности студентов, их эмоциональной включенности в учебный процесс.

Влияние дискуссии на личностное становление аспиранта обуславливается ее целостно - ориентирующей направленностью, созданием благоприятных условий для проявления индивидуальности, самоопределения в существующих точках зрения на определенную проблему, выбора своей позиции; для формирования умения взаимодействовать с другими, слушать и слышать окружающих, уважать чужие убеждения, принимать оппонента, находить точки соприкосновения, соотносить и согласовывать свою позицию с позициями других участников обсуждения.

Наличие оппонентов, противоположных точек зрения всегда обостряет дискуссию, повышает ее продуктивность, позволяет создавать с их помощью конструктивный конфликт для более эффективного решения обсуждаемых проблем.

Существует несколько видов дискуссий, использование того или иного типа дискуссии зависит от характера обсуждаемой проблемы и целей дискуссии.

Дискуссия- диалог чаще всего применяется для совместного обсуждения учебных и производственных проблем, решение которых может быть достигнуто путем взаимодополнения, группового взаимодействия по принципу «индивидуальных вкладов» или на основе согласования различных точек зрения, достижения консенсуса.

Дискуссия - спор используется для всестороннего рассмотрения сложных проблем, не имеющих однозначного решения даже в науке, социальной, политической жизни, производственной практике и т.д. Она построена на принципе «позиционного противостояния» и ее цель - не столько решить проблему, сколько побудить участников дискуссии задуматься над проблемой, уточнить и определить свою позицию; научить аргументировано отстаивать свою точку зрения и в то же время осознать право других иметь свой взгляд на эту проблему, быть индивидуальностью.

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,
- свободное владение материалом, привлечение различных источников для аргументации отстаиваемых положений;
- правильное употребление понятий, используемых в дискуссии, их единообразное понимание;
- корректность поведения, недопустимость высказываний, задевающих личность оппонента; установление регламента выступления участников;
- полная включенность группы в дискуссию, участие каждого студента в ней.

Подготовка аспирантов к дискуссии: если тема объявлена заранее, то следует ознакомиться с указанной литературой, необходимыми справочными материалами, продумать свою позицию, четко сформулировать аргументацию, выписать цитаты, мнения специалистов.

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

Этап 1-й, введение в дискуссию: формулирование проблемы и целей дискуссии; определение значимости проблемы, совместная выработка правил дискуссии; выяснение однозначности понимания темы дискуссии, используемых в ней терминов, понятий.

Этап 2-й, обсуждение проблемы: обмен участниками мнениями по каждому вопросу. Цель этапа - собрать максимум мнений, идей, предложений, соотнося их друг с другом.

Этап 3-й, подведение итогов обсуждения: выработка согласованного мнения и принятие группового решения.

Далее подводятся итоги дискуссии, заслушиваются и защищаются проектные задания. После этого проводится "мозговой штурм" по нерешенным проблемам дискуссии, а также

выявляются прикладные аспекты, которые можно рекомендовать для включения в курсовые и дипломные работы или в апробацию на практике.

Семинары-дискуссии проводятся с целью выявления мнения аспирантов по актуальным и проблемным вопросам.

#### 4. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

При подготовке к экзамену приводятся в систему знания, полученные на лекциях и практических занятиях, и тогда изучаемая дисциплина может быть воспринята в полном объеме ее научной значимости и практической направленности.

При подготовке к экзамену не только дорабатывается материал дисциплины, но и обобщаются полученные знания, осмысливается методология предмета, его система.

Экзамену предшествует защита реферата.

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.

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, создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например.

При подготовке к экзамену основное направление дают программа учебной дисциплины и конспект лекций, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику и учебным пособиям.

Перед экзаменом назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации можно получить ответ на неясные вопросы, а для этого до консультации должны быть проработаны 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, фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. 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.

Основные рекомендации по подготовке к сдаче экзамена:

- лучшая подготовка к экзамену - равномерная работа в течение всего семестра;
- использовать программу учебной дисциплины - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывать, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составлять планы работы во времени; работать равномерно и ритмично;
- помнить, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделять трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;

- грамотно использовать консультации;
- учиться точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логикографическими схемами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы аспирантов являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Таким образом, используя методические указания, можно в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

- 1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;
- 2) добросовестное выполнение заданий;
- 3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;
- 4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам;
- 5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области изучаемой дисциплины;
- 6) проведение собственных научных исследований по актуальным проблемам;
- 7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе научных обществ, круглых столов.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»



**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. проректора по учебно-методической работе

В. В. Зубов

В. М. Сапожников

**ГЕОЛОГО – ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ  
НЕФТИ И ГАЗА**

*Учебное пособие*

по дисциплине «Геолого – геофизическое моделирование  
разрабатываемых залежей нефти и газа»

Екатеринбург - 2020

УДК 550.83  
С19

Рецензент: *Александров В.М.* канд. геол. – мин., наук, доцент каф. «Геологии месторождений нефти и газа» Тюменского государственного нефтегазового университета

Печатается по решению Редакционно – издательского совета  
Уральского государственного горного университета

**Сапожников В. М.**

**ГЕОЛОГО \_ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА:** учебное пособие / В. М. Сапожников ;  
Уральский гос. горный ун – т. – Екатеринбург: Изд – во УГГУ, 2020– 66 с.

Пособие представляет конспект лекций по курсу «Геолого – геофизическое моделирование разрабатываемых залежей нефти и газа, читаемый студентам очного обучения специализации «Геофизические исследования скважин». В нем изложены способы комплексного использования данных интерпретации сейсморазведки и ГИС, седиментационного и фациального анализа с целью построения объемных моделей залежей углеводородов на разных стадиях изучения и эксплуатации месторождений нефти и газа.

Рассмотрены методы оценки и учета геологической неоднородности при формировании представления о детальном строении залежей и определении запасов в них углеводородов. Приведены примеры геологического моделирования на этапах подсчета запасов и подготовки к проектированию и управлению разработкой месторождений нефти и газа.

Для студентов очного, заочного и дистанционного обучения по специализации «Геофизические исследования скважин».

Рис. 36, Библ. 11.

© Уральский государственный  
горный университет, 2020

## Введение

Геолого – геофизическое моделирование (ГГМ) залежей нефти и газа проводится для получения необходимой информации используемой при подсчёте запасов и управлении разработкой месторождений углеводородов (УВ). Данные интерпретации ГИС с учётом результатов сейсморазведки 3-D и гидродинамических исследований позволяют решать следующие задачи:

- построить объёмную модель резервуара, содержащую информацию о промысловых свойствах и распределении в пространстве коллекторов, а также литологических и тектонических экранов;

- провести по ней подсчёт балансовых запасов углеводородов с прогнозом их извлекаемости;

- проектировать сеть дополнительных (разведочных, эксплуатационных, контрольных и нагнетательных) скважин на различных этапах разработки месторождений.

Моделирование залежей осуществляется на протяжении всего периода жизни месторождения, начиная от стадии завершения основных разведочных работ и кончая этапом его консервации с оценкой остаточных запасов с учётом существующих к этому моменту технологий извлечения углеводородов. Для моделирования создаётся база данных, которая последовательно пополняется и корректируется.

Построение начальной модели и её уточнение по мере извлечения добываемого продукта требует применения современной вычислительной техники и программных систем, позволяющих получать традиционные виды моделей в виде блок-диаграмм, карт, профилей, зависимостей, таблиц и т.д.

При изучении данного курса ставится задача познакомиться с принципами геолого-геофизического моделирования и получить навыки решения отдельных задач по формированию представления о строении в пределах месторождений геологической среды, пространственном положении, фильтрационно-емкостных свойствах и насыщенности углеводородами изучаемых объектов. Геологической основой моделирования могут служить обобщения, выполненные в учебном пособии (В. И. Русский). Более подробно технология геолого-геофизического моделирования изложена в учебнике и учебных

пособиях, подготовленных преподавателями РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, накопившим опыт исследований по теме рассматриваемой дисциплины [1,2].

## **1. Углеводородное сырьё и геологические структуры продуктивных горизонтов и пластов-коллекторов**

### **1.1 Нефть и природные горючие газы**

*Нефть-маслинистая жидкость*, представляющая сложный коллоидный углеводородный раствор. На дневной поверхности нефть имеет плотность  $0,82 - 0,92 \text{ г/см}^3$ , и лишь при обилии в ней смолистых веществ её плотность несколько выше  $1 \text{ г/см}^3$ . В пластовых условиях в нефти растворён газ и её плотность на 15-20 % ниже, чем на дневной поверхности. Нефти сильно разнятся по вязкости (сопротивлению перемещения при перепаде давления): от 5 до 20000 мПа·с. При высокой температуре и наличии растворённого газа их вязкость заметно (до одного порядка) ниже, чем на дневной поверхности.

*Природные горючие газы* представляют собой смеси в основном метановых УВ и их часто называют сухими. Газы, растворённые в нефти, называют попутными или жирными. Они резко отличаются от сухих значительным содержанием этана, пропана, бутана и высших УВ. Относительная (в сравнении с воздухом) плотность горючих газов меняется от 0,5 (сухой газ) до 1 и более (попутный газ). Растворимость газа в нефти примерно в 10 раз выше, чем в воде и повышается с ростом давления, но уменьшается с увеличением температуры.

*Газоконденсаты* - это газообразные смеси, состоящие из жирных газов и нефтяных УВ, находящихся в газообразном или парообразном состоянии. При снижении температуры и давления из смеси выделяется жидкая фаза - конденсаты, плотность которых колеблется в пределах  $0,6-0,8 \text{ г/см}^3$ .

*Газогидраты* представляют соединения, в которых при низких температурах молекулы газов или легких нефтей проникают в кристаллическую решетку воды. Внешне газогидраты похожи на снег и широко распространены в зоне вечной мерзлоты.

### **1.2 Концепции образования месторождений нефти и газа**

Согласно современным воззрениям нефть и горючие газы имеют преимущественно органическое происхождение. Однако в отдельных случаях они образуются в результате дегазации из мантии реакционных смесей водорода и простейших углеродистых соединений с их превращением в высокотемпературных очагах в нефтегазовые соединения.

Наиболее распространённый способ нефтегазообразования связан с многоступенчатым преобразованием органического вещества, содержащегося в глинистых или карбонатных породах, накопленного в морских, прибрежно-морских или континентальных условиях. В этих погруженных на большие глубины нефтегазоматеринских породах под воздействием биохимических процессов, нарастания температуры и давления образуется кероген (подобие горючих сланцев с содержанием углерода (60 – 80%), водорода (6 – 10%), серы (2 – 9%) и др. компонентов). Из керогена со временем генерируются углеводороды, которые в свободном или растворённом состоянии мигрируют в вышерасположенные коллекторы. Одним из способов миграции углеводородных флюидов является газовый перенос рассеянных микрочастиц нефти. Благодаря процессам эффузии газы могут мигрировать даже через довольно плотные горные породы. Возможны поступления УВ из осадочных пород, оказавшихся из-за движения плит внутри кристаллического фундамента.

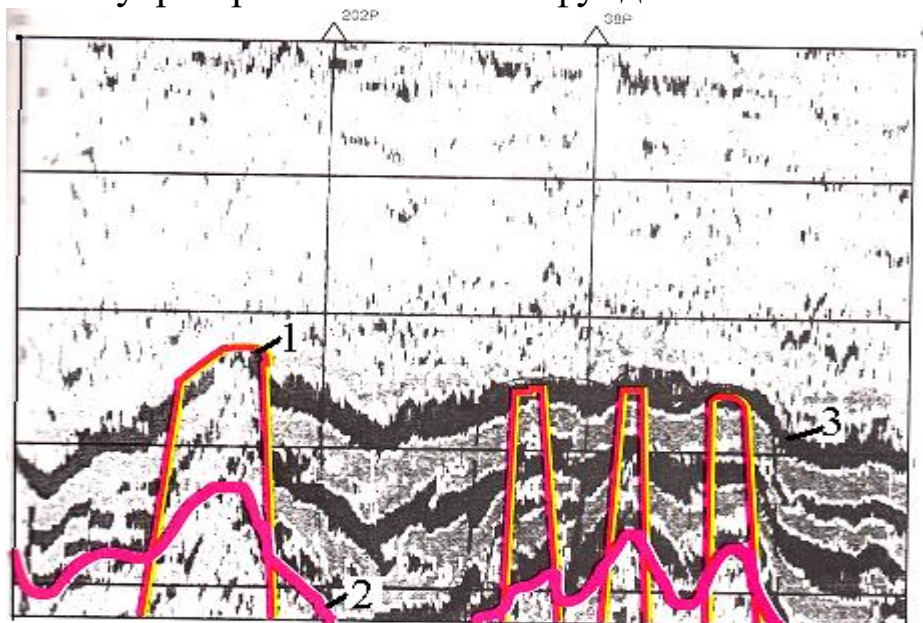


Рис.1.1. Фрагмент временного разреза с субвертикальными зонами деформации (СЗД). Краснотинский свод (западная Сибирь). 1-проявления СЗД; 2- граница фундамента; 3- отражающие горизонты [5]

Транспортировка УВ осуществляется большей частью по субвертикальным зонам разрывных нарушений или деструкций щелевой или трубчатой формы (рис.1.1). При этом важную роль играют геосолитоны, возникающие под действием импульсного геодинамического поля Земли. Эти энергетические импульсы доставляют порции УВ к породам - коллекторам, закупоренным покрышками из непроницаемых образований [5].

Существование субвертикальных зон деструкции (СЗД) в земной коре, играющих важное значение для транспортировки УВ и их размещения в высокопористых геологических телах, требует считаться с возможностью формирования как моделей сплошных, так и дискретных геолого-геофизических сред. Влияние СЗД может проявиться возникновением в пределах нефтегазоносных залежей мало-размерных участков с резко повышенными величинами проницаемости коллекторов и дебита УВ.

Миграция УВ может происходить не только из пород, в которых они образовались в коллекторы, но и из одного пласта в другой по трещинным зонам в направлении снижения давления. Миграция внутри одного наклонного пласта под действием гидродинамического напора воды приводит к образованию единой залежи или нескольких залежей в ловушках пласта с изгибами (рис.1.2).

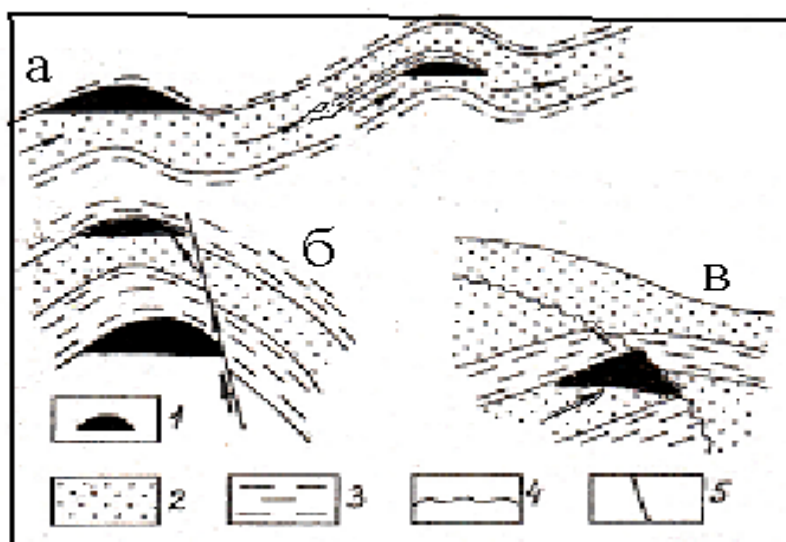


Рис. 1.2. Примеры проявления внутрипластовой и межпластовой миграция

1 – залежи УВ; 2 – пласт-коллектор; 3 – глины; 4 – поверхность несогласия; 5 – разрывное нарушение (В. И. Русский)

### 1.3. Формации и фации, благоприятные для нефтегазообразования и нефтегазонакопления

При построении геолого-геофизических моделей нефтегазовых месторождений необходимо учитывать их принадлежность к типам формаций и фаций, в которых они сформировались. Это позволяет использовать сведения о закономерностях присущих палеогеографическим и палеотектоническим обстановкам, в которых происходило образование этих месторождений, более успешно проводить корреляцию разрезов и прогнозировать качество пород-коллекторов и покрышек, а также распределение запасов УВ.

*Формация* представляет сообщество геологических тел, парагенетически связанных в возрастном и пространственном отношении, образовавшихся в определённых палеотектонических и палеогеографических условиях. По своему стратиграфическому объёму формация соответствует ярусу или отделу. Подавляющая часть нефтегазовых месторождений открыта в осадочных формациях. Для платформенных территорий типичны карбонатные, песчано-глинистые морские, песчано-глинистые угленосные и терригенно-карбонатные формации (Волго-Уральская, Западно-Сибирская, Восточно-предкавказская нефтегазоносные провинции и др.). Для складчатых областей более характерны флишоидные (чередование нескольких литотипов пород) и молассовые (чередование многочисленных маломощных песчано-глинистых слоев) формации (Предкавказская, Закавказская, Апшеронская нефтегазоносные провинции и др.).

*Фация* отражает обстановку осадконакопления и сами осадки. Интерес представляют фации благоприятные для формирования ловушек структурного и неструктурного типа и накопления УВ.

*Среди морских фаций* наиболее перспективны фации мелководья. Именно в прибрежной части палеоморей происходило формирование разнообразных песчаных образований, потенциально благоприятных для выполнения впоследствии роли коллекторов. Среди многообразия морских аккумулятивных форм наибольший интерес представляют устьевые и вдольбереговые бары, подводные валы, барьерные острова, косы, пляжи, а также отложения, связанные с вдольбереговыми и разрывными течениями. Они представляют скопления обломочного материала, принесённого волнами или потоками течений. В процессе своего формирования эти преимущественно песчаные разноформенные тела (рис.1.3) могли быть отде-

лены от берега морем (бары, валы, тела промоин), прислонены к берегу (косы, пляжи). Могли также постепенно перемещаться в сторону берега (трансгрессивные бары, барьерные острова) или моря (регрессивные бары), формироваться в понижениях пологого берега, заливаемых во время приливов (марши), и ограничиваться крутым уступом на берегу (клифом). Схематически картина образования таких песчаных тел изображена на рис. 1.4.

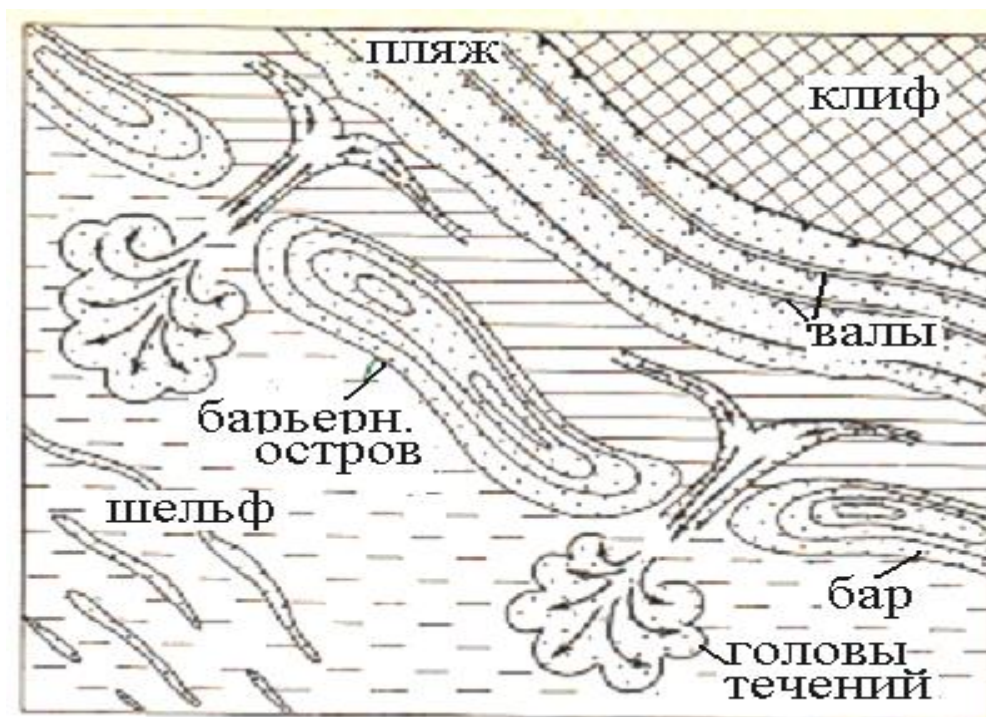


Рис. 1. 3. Схема образования и размещения аккумулятивных песчаных тел в прибрежной части мелководного моря (В. С. Муромцев)

*Группа фаций мелководного шельфа* формировалась в палеоморях на глубинах до ста метров. Здесь образовывались значительные скопления песчаного и алевроитового материала, связанные с различного рода стоковыми течениями, которые заполняли крупные прогибы с формированием конусов выноса большой мощности. Глинистые породы распространены ограничено.

Мелководные морские отложения представляют скопления выдержанных по простиранию терригенных и карбонатных (органогенно-обломочных, рифогенных, оолитовых) пород, часто характеризующихся высокой пористостью и проницаемостью.

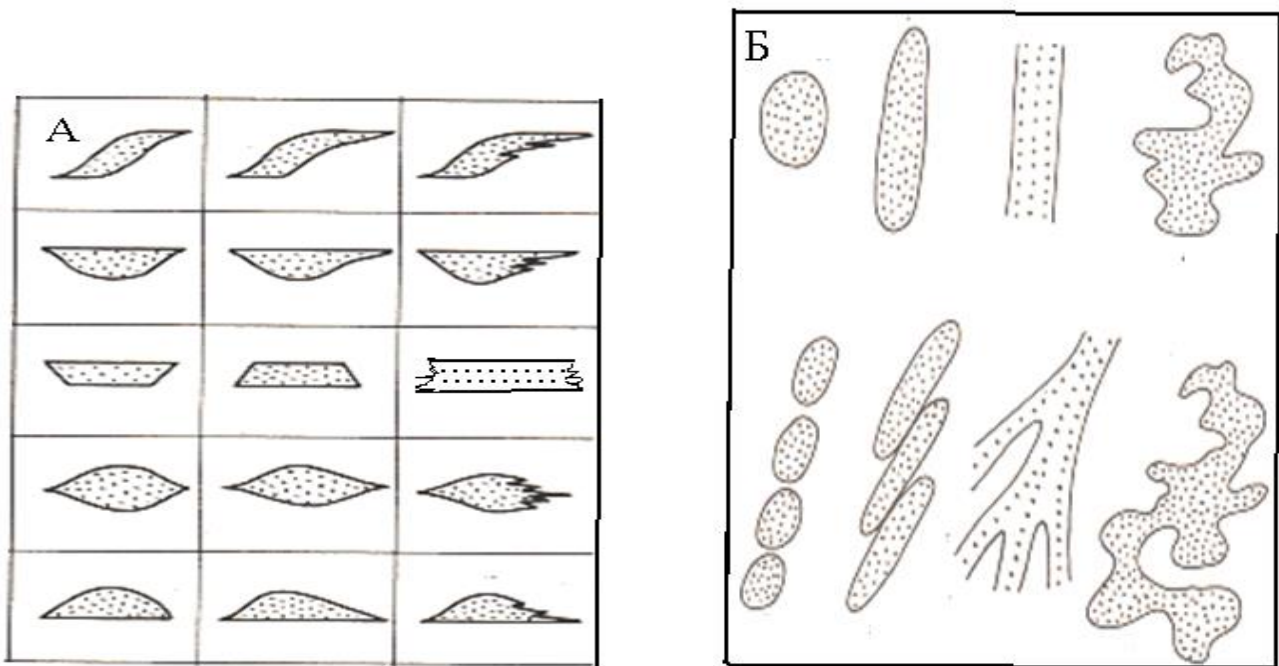


Рис. 1.4. Формы песчаных тел в поперечном сечении (А) и в плане (Б), типичные для прибрежного мелководья и шельфа (В. С. Муромцев)

Фаши умеренно-глубоководных частей шельфа представлены в большей части глинистыми отложениями, которые играют роль покровов высокого качества. Однако встречаются песчано-алевритовые, реже - грубообломочные породы, которые могут выполнять роль коллекторов.

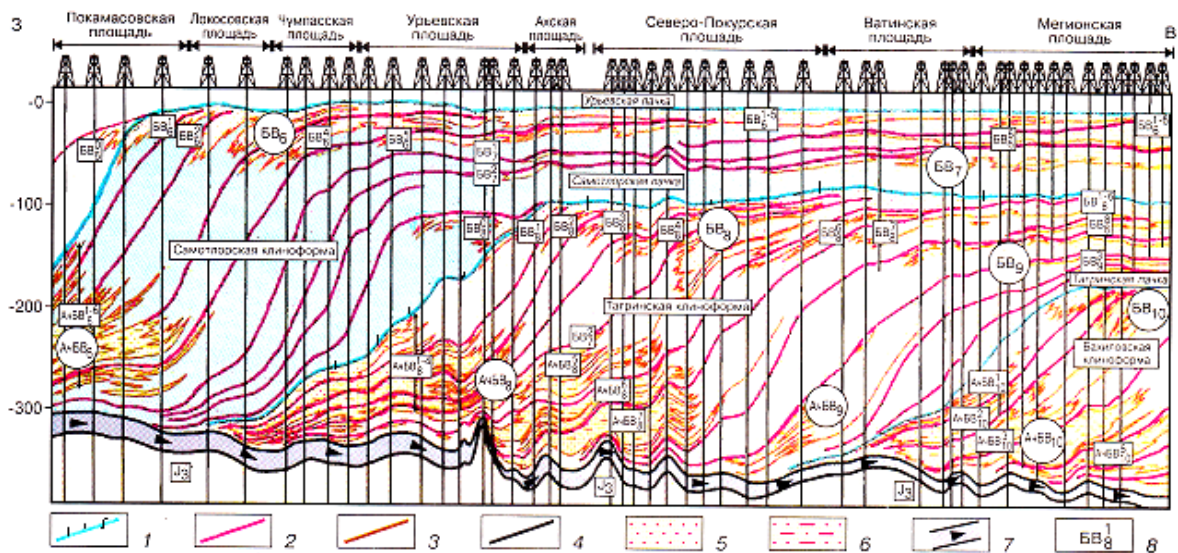


Рис.1.5. Принципиальная схема геологического строения западной части Нижневартовского свода (А. Л. Наумов)

1 -3 границы клиноформ; 4 = граница баженовской свиты; 5,6 – мелководные и глубоководные песчано-алевролитовые тела; 7 – битуминозные аргиллиты баженовской свиты; 8 – индексы продуктивных пластов

Часто при крутом погружении дна моря происходил сброс обломочных отложений с мелководья на глубину с образованием впоследствии песчаных тел, перекрытых известково-алевролитовым материалом. При этом происходило как перемещение берега, так и уровня моря. В результате формировались сложные тела, получившие название клиноформ, для которых характерны два уровня образования песчаников в одном линзообразно-вогнутом теле. Такие клиноформы типичны для многих месторождений Нижневартовского свода (Западная Сибирь) (рис. 1.5). При такой форме тел приходится учитывать различный возраст образования песчаных отложений, обнаруженных на одной глубине и единый возраст для разноглубинных тел.

Среди континентальных фаций наиболее перспективны аллювиальные отложения, образованные палеореками. Русла древних рек, выполненные песчаными и песчано-галечниками образованиями и перекрытые глинистыми отложениями пойм, представляют благоприятные сочетания для образования тел-коллекторов

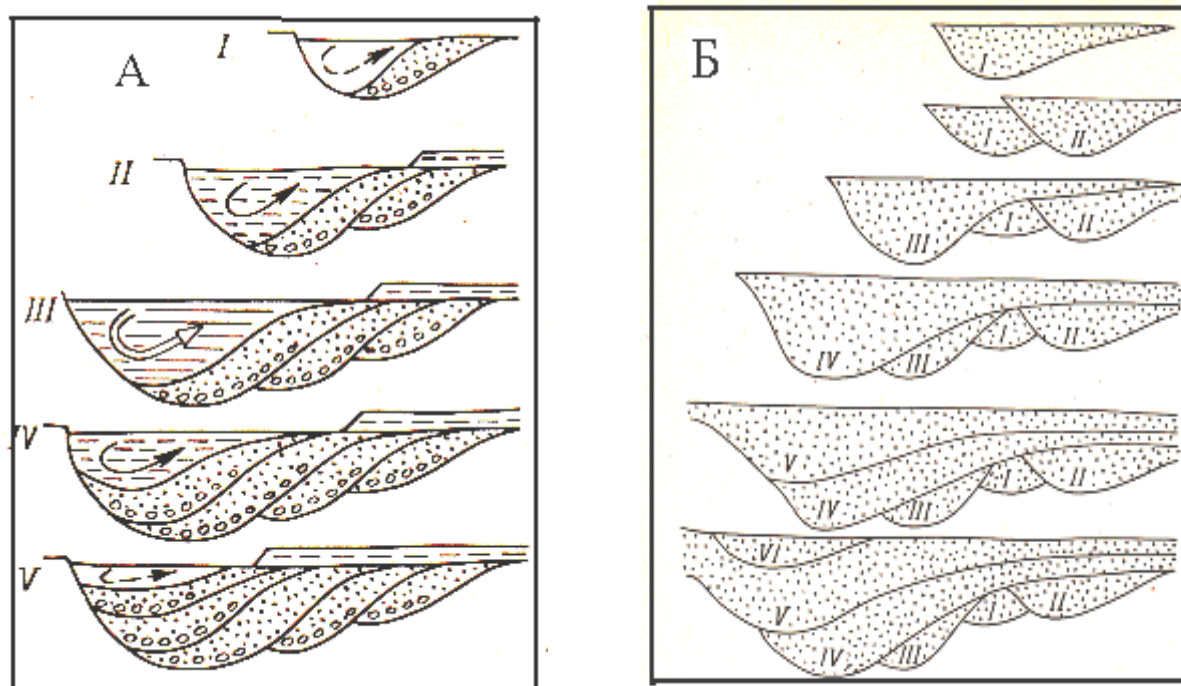


Рис. 1.6. Схемы последовательного формирования сегментов песчаных тел меандрирующей реки при различных гидродинамических и морфологических условиях

1- IV – очерёдность образования песчаных тел (В. С. Муромцев)

В течение длительного (геологического) времени палеореки реагировали на изменение рельефа и климата, что находило отражение в морфологии, составе, строении песчаных и глинистых пород, выполнявших их долины. Образовывались простые и сложные формы русел с появлением серии наложенных песчаных тел у меандрирующих рек (рис.1.6).

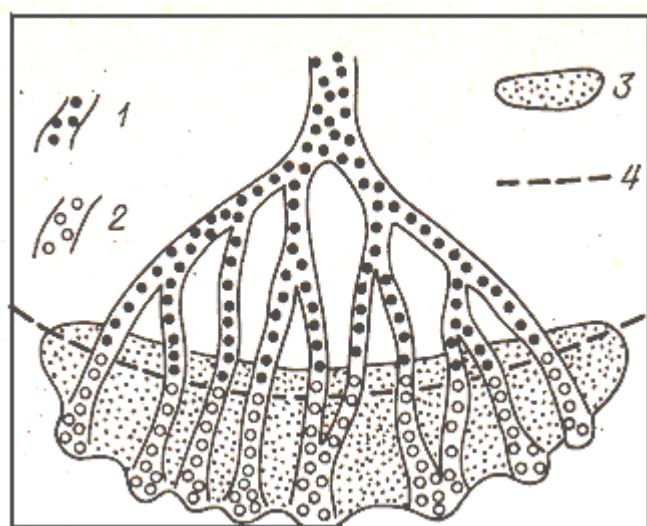


Рис. 1. 7. Схема расположения песчаных тел в пределах дельтового комплекса реки равнинного типа

1 - главные и боковые русла;  
2 – подводные борозды; 3 - авидельта;  
4 – морской край дельты  
(В. С. Муромцев)

Многочисленные и сложные песчаные образования формировались в устьях палеорек. Дельтовый комплекс фаций включает фации нескольких групп со своими отличительными признаками: верхней и нижней равнины, морского края, подводного склона (авидельты). Упрощенная схема расположения песчаных тел дельтового комплекса показана на рис. 1.7.

Процессы осадкообразования протекают часто циклично с повторяемостью сочетаний разнотипных образований. Это связано с периодическими явлениями трансгрессии (наступление моря на сушу) и регрессии (отступление моря). Циклическое строение осадочных толщ используется для выделения структурно-формационных этажей, ярусов и более детального их расчленения на группы и отдель-

ные фации. При этом возникают сложности, связанные с тем, что в континентальных, прибрежно-морских и дельтовых отложениях отдельные песчаные пласты не всегда выдержаны по простиранию, меняются по мощности, разветвляются (бифуркируют), выклиниваются и вновь появляются. Помогает построение схем последовательности залегания разновозрастных отложений, позволяющих установить условия осадконакопления, характерные для отдельного цикла, например при проявлении регрессии или трансгрессии, и учитывать специфику формирования фаций. Так на схеме (рис.1.8) дана классификация участка разреза, для которого характерна цикличность в формировании морских и континентальных отложений при проявлении регрессии. Установлено, что на этом участке, где существовали условия мелководья, (глинистые отложения) начали формироваться песчаные тела авандельты, затем надводные фации, но впоследствии здесь снова восстановились условия мелководья.

Помогают выделить циклы формирования фаций литологические признаки отложений, а также формы аномалий на диаграммах геофизических методов исследования скважин и в первую очередь данные электрометрии. Более подробно этот вопрос рассмотрен ниже.

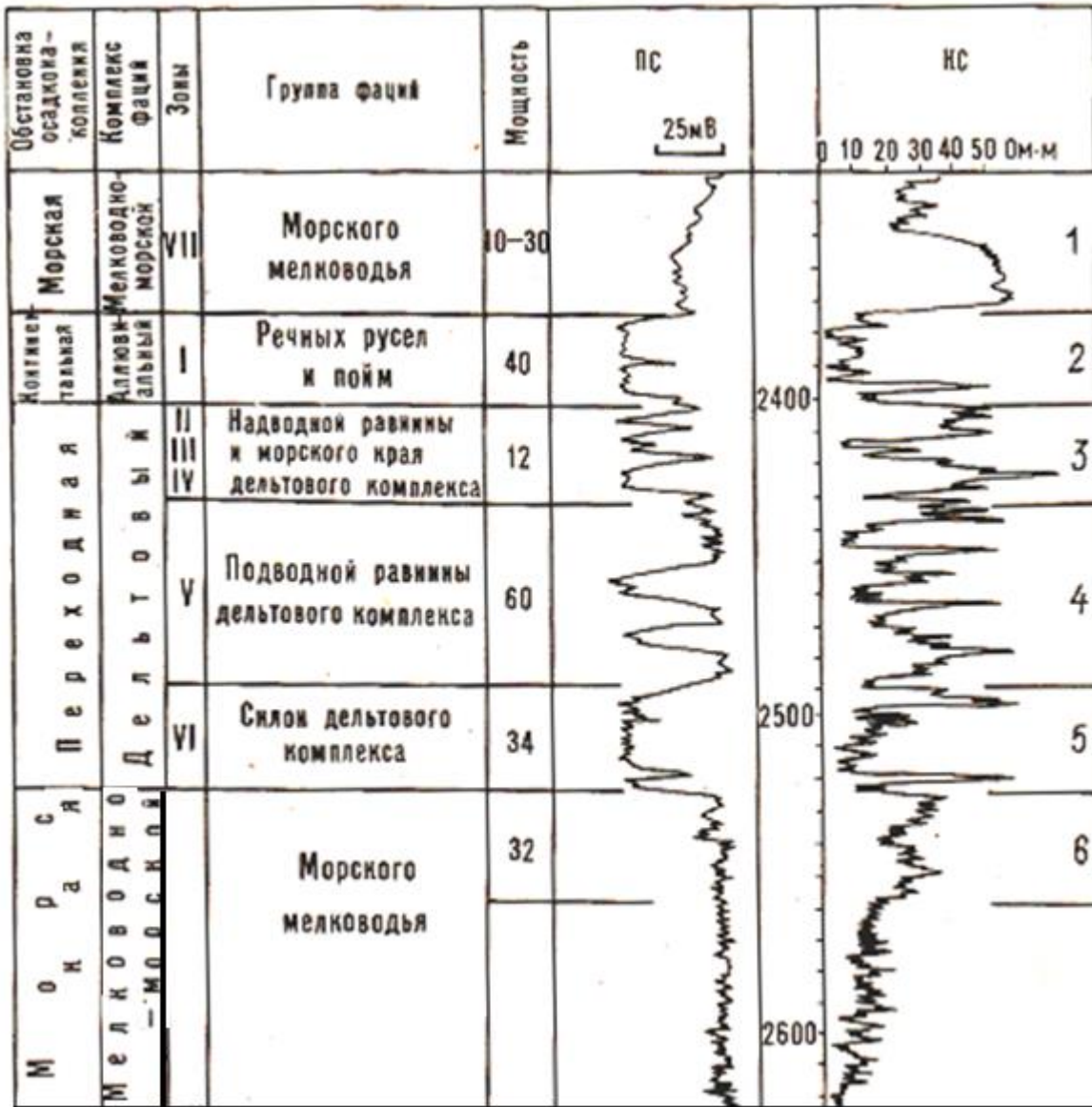


Рис. 1.8. Схема последовательности залегания группы фаций регрессивно-дельтового комплекса и их электрометрическая характеристика (В. С. Муромцев)

#### 1.4. Природные резервуары, ловушки и залежи нефти и газа

Подземные скопления нефти и газа содержатся в так называемых *природных резервуарах*. Ими именуются пласты, толщи и массивы пористых и проницаемых для нефти и газа пород-коллекторов, которые частично или со всех сторон ограничены практически

непроницаемыми породами. Природные резервуары образованы песчано-алевролитовыми, карбонатными, а в некоторых случаях изменёнными магматическими породами. Различают три основных их типа: пластовые, массивные и литологически ограниченные резервуары.

*Непроницаемые толщи (флюидоэкраны)* сложены преимущественно глинистыми, сульфатными, соленосными породами, реже плотными карбонатными породами. Природные резервуары всегда в той или иной степени водонасыщенны.

Будучи легче воды, нефть и газ всплывают к кровле резервуара и скапливаются в его наиболее возвышенных местах. Часть природного резервуара, в которой существуют застойные условия для подвижных флюидов, то-есть устанавливается равновесие между силами, вызывающими перемещение флюидов и препятствующими им, называется *ловушкой*. В ловушках создаются благоприятные условия для накопления нефти и газа.

Различают несколько типов ловушек:

структурные, образованные в результате изгиба слоёв (сводовые) или нарушения их сплошности (тектонически экранированные);

стратиграфические, когда близкие по литологии толщи разделены поверхностью несогласия;

литологические, сформированные в результате выклинивания песчаных пород в непроницаемых толщах,

погребённых массивов с участками высокопроницаемых пород (риффы, изменённые поднятия кристаллического фундамента).

Классификация ловушек близка к классификации залежей нефти и газа, поскольку УВ занимают часть или весь объём ловушки и имеют общие элементы строения.

*Залежи нефти и газа* представляют собой локальное скопление УВ в ловушке, т.е. её продуктивную часть. Совокупность залежей УВ образуют месторождение (газовое, нефтегазовое, нефтяное).

Газ, нефть и вода располагаются в ловушке в соответствии с их плотностью. Поверхности контакта газа и нефти, воды и нефти называются поверхностями газонефтяного (ГНК) и водонефтяного (ВНК) контактами соответственно (рис. 1.9 А). Линии пересечения поверхности ВНК (ГНК) подошвы с поверхностью кровли продуктивного пласта представляет внешний контур нефтеносности (газосности). Если поверхность контакта горизонтальна, то контур

нефтеносности (газоносности) в плане параллелен изогипсам кровли пласта. При наклонном положении поверхности ВНК (ГНК) на структурной карте контур нефтеносности (газоносности) будет пересекать изогипсы кровли, смещаясь в сторону наклона поверхности раздела.

Контакты между разнотипными флюидами могут быть не резкими из-за присутствия переходной зоны, в которой существует смесь флюидов. Например, в нефтенасыщенной части залежи с глубиной происходит её обеднение с увеличением доли воды.

Представление о примерах сосредоточения нефтегазовых залежей в некоторых типах ловушек даёт обобщение, приводимое на рис. 1.9.

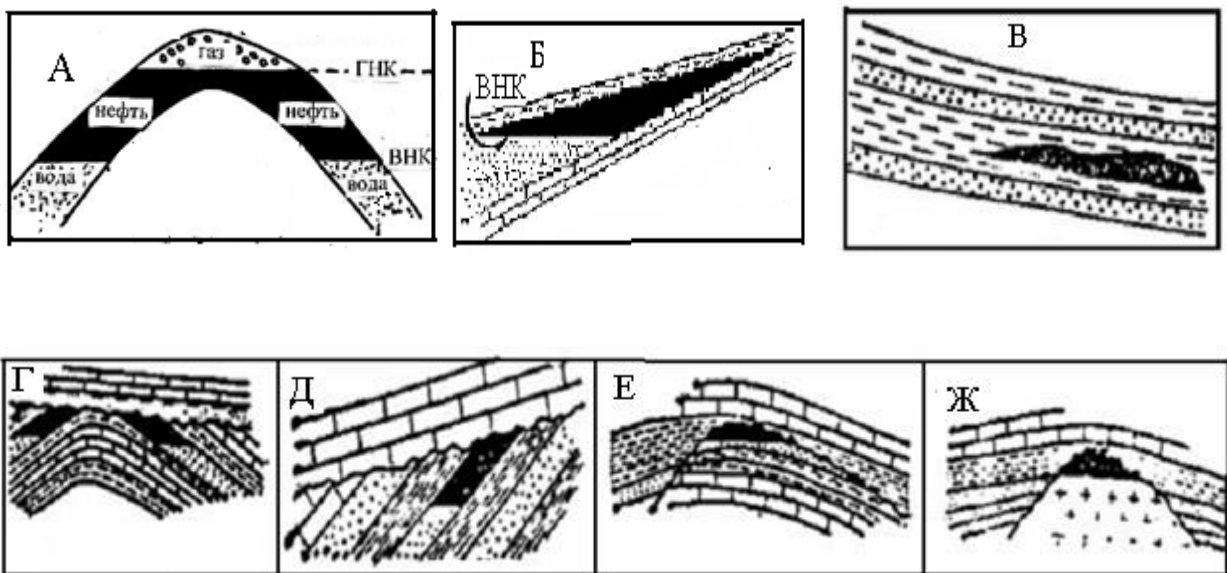


Рис. 1.9. Примеры типовых ловушек и нефтегазовых залежей

А – пластовая сводовая залежь в структурной ловушке (линейные антиклинали и брахиантиклинали) ; Б – Залежь в стратиграфической ловушке, образованной поверхностью несогласия; В – Залежь в литологической ловушке (выклинивание песков в глинах); Г,Д – пластовые залежи в стратиграфических ловушках (пласты-коллекторы срезаны эрозией и несогласно перекрыты молодыми непроницаемыми породами); Е - пластовые залежи, экранированные разрывом; Ж – массивные залежи в выступах (риффы, поднятия кристаллического фундамента) под сводовыми экранами

## **1.5 Исходные данные и этапы построения геолого-геофизической модели нефтегазовой залежи**

Работа по созданию модели начинается со сбора данных на фиксированную дату, но впоследствии по мере поступления новых данных производится корректировка модели. Моделирование начинается с построения емкостной модели, затем на базе геолого-структурного и ёмкостного моделирования формируется фильтрационная модель, а завершаются построения созданием флюидно-динамической модели.

В моделировании принимают участие специалисты в различных областях знаний, так как решаются разноплановые задачи. Главными из них являются подсчёт запасов (ёмкостная модель), изучение распределения фильтрационных характеристик коллекторов с определением путей миграции флюидов и рационального размещения добывающих скважин (фильтрационная модель), исследование состава флюидальной системы и её термобарического состояния, знание которых необходимо для принятия правильных решений по нефтегазоизвлечению (флюидально-динамическая модель).

Ограничимся наиболее детальным рассмотрением процесса создания ёмкостной модели, при котором наибольший вклад вносят специалисты - геофизики, хотя их участие необходимо и при более углублённом геолого-математическом моделировании нефтегазовых залежей.

Материальной основой для моделирования являются данные ГИС, подкреплённые результатами ГТИ и исследований керна, по всем скважинам на площади природного резервуара. Эти данные, получаемые обычно для каждой скважины после завершения её бурения, включают конфигурацию и положение трассы скважины в пространстве, геологические колонки с выделенными пластами - коллекторами. В первую очередь для коллекторов определяются их эффективные толщины, характер насыщения, глинистость, остаточная водонасыщенность, плотность, пористости (общая, эффективная, динамическая), проницаемость. Для продуктивных пластов с раз-

ным характером насыщения определяют контакты участков с разными флюидами (ГНК, ГВК, ВНК), а также коэффициенты  $K_g$ ,  $K_n$  (или  $K_{нг}$ ).

Стандартными составляющими процесса разведки и ГГМ являются данные сейсморазведки. Поэтому исходные материалы для моделирования включают разрезы времён отражения, полученные при проведении 3D или 2D сейсморазведки с привязкой к скважинам, результаты вертикального сейсмического профилирования (ВСП) по отдельным скважинам.

На первом этапе ГГМ по данным сейсморазведки создаётся структурная «толстослоистая» модель всего месторождения с отображением основных горизонтов. Полученные результаты представляют некоторый каркас структуры изучаемой среды. Полученные по данным ВСП характеристики средней скорости в разрезе, а также применение моделирования сейсмотрасс по скважинам и сопоставление их с сеймотрассами полевой сейсморазведки, позволяет выполнить для волновых полей преобразование типа «время – глубина». Это позволяет на сейсмических разрезах определить глубины отражающих горизонтов и их соответствие границам пластов, выделяемых по данным ГИС.

С использованием глубинных сейсмических разрезов проводится детальная корреляция разрезов по данным ГИС. При этом уточняется литологическое расчленение разреза с определением флюидных контактов в пространстве. Завершение данной работы позволяет перейти к построению «тонкослоистого» модели месторождения в виде каркаса продуктивных пластов. Одной из важных задач является правильное стратиграфическое расчленение разрезов глубоких скважин. Как правило, выбирается в качестве эталона одна или несколько скважин, изученных наиболее детально, чьи стратиграфические разбивки переносятся на корреляционные разрезы. По корреляционным профильным разрезам, в первую очередь проложенным вкрест простирания осевых частей структуры изучаемого объекта, определяют принципиальные черты его геологического строения и историю формирования.

Совокупность собранных данных позволяет выявить пористое пространство в изучаемой среде, геометрические размеры продуктивных пластов и их насыщенность нефтью и газом. Эти размеры обычно определяют по структурной карте месторождения, на которой нанесены изогипсы какой – либо маркирующей поверхности пласта. Строятся также карты эффективных мощности ( $h_{эф}$ ), общей и эффективной пористости ( $K_{п}$ ,  $K_{п\ эф}$ ), проницаемости ( $K_{пр}$ ), коэффициентов нефтенасыщенности и газонасыщенности ( $K_{н}$ ,  $K_{г}$ ), линейных запасов по скважинам (произведений  $h_{эф}K_{п}K_{н}$  ( $h_{эф} K_{п}K_{г}$ )) и др. параметров. Эти данные позволяют вычислить объёмы пористых продуктивных пластов или их частей с различным характером насыщения, а также запасы нефти и газа. Для большей наглядности по отдельным профилям строят графики линейных запасов.

Процедура геометризации залежей нефти и газа может проводиться вручную или с применением компьютерных технологий.

Дальнейшая работа с моделью залежи предполагает участие геологов и гидродинамиков.

## **2.Использование сейсморазведки при изучении нефтегазовых резервуаров**

### **2.1 Предпосылки применения сейсмических исследований при геолого-геофизическом моделировании**

Объединение данных бурения, ГИС и сейсморазведки, получаемых в процессе разведки и разработки нефтегазовых залежей, позволяет повысить информативность исследований строения изучаемой геологической среды и в первую очередь продуктивных объектов. Достоинство сейсморазведки состоит в том, что с её помощью удаётся получить представление о распределении геологических и петрофизических границ во всём изучаемом объёме среды, хотя детальность этих исследований по глубине ограничена.

Для того чтобы данные полевой сейсморазведки можно было использовать для геологических построений они подвергаются специализированным системам обработки (многообразные варианты

фильтрации, введение поправок во времена и амплитуды колебаний и др.). В результате строят сейсмические разрезы и кубы, на которых приводятся волновые изображения среды в виде отражающих горизонтов с отображением погрешности обработки (рис. 1.1).

Сейсмические трассы могут располагаться между скважинами, что способствует более достоверному решению задач корреляции и, следовательно, успешному геолого-геофизическому моделированию залежей.

Сейсмические трассы, получаемые в результате обработки полевых данных, состоят только из волн, образовавшихся в результате отражения от последовательности геологических границ. На рис. 2.1 представлена простейшая модель пласта (с покрывающей и подстилающей средами), толщина которого больше длины падающей импульсной сейсмической волны. В этом случае возникают отдельные отражённые волны от кровли и подошвы пласта, а времена их возвращения на дневную поверхность характеризуют глубину этих границ

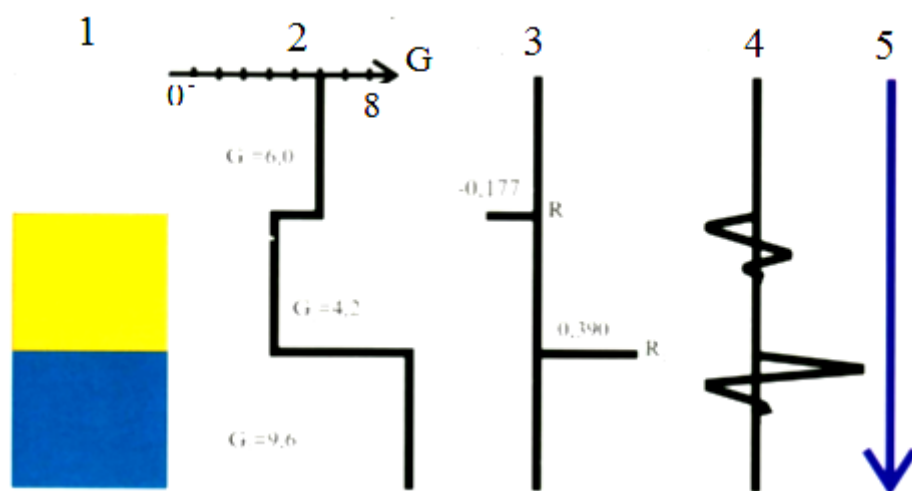


Рис. 2.1. Модель трёхслойной среды с различными величинами импеданса ( $G$ ), коэффициентами отражения ( $R$ ) и отражёнными волнами, соответствующими границам слоев

1 – трёхслойная среда; 2 - график  $G$ ; 3 - величины  $R$  на границах слоёв; 4 - отражённые волны; 5 – шкала времени

Как и в натуре, каждый слой пород характеризуется плотностью ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>) и скоростью ( $V$  км/с), а также сейсмическим импедансом  $G = \sigma \cdot V$ . В примере, иллюстрируемом рис.2.1, слои характеризуются

сверху вниз по плотности значениями 1,8, 2,05 и 2,4 г/см<sup>3</sup>, а по скорости значениями 2,3, 2,42 и 4 км/с.

Амплитуды отражений определяются величинам коэффициентов отражения  $R$  от соответствующих границ. Если контактируют слои  $i$  и  $i+1$ , залегающие выше и ниже границы, то для границы

$$R_i = (G_{i+1} - G_i) / (G_{i+1} + G_i). \quad (2.1)$$

Как следует из формулы (2.1) коэффициенты отражения и соответствующие им амплитуды отражения могут быть положительными и отрицательными. Так в рассматриваемом примере слоистой среды величины  $R$  имеют значения  $-0,177$  и  $0,39$ .

## 2.2 Интерпретация сейсмических данных

Знание распределения коэффициентов отражения по глубине (по данным ГИС для одной из скважин) позволяет построить синтетическую сейсмическую трассу, с амплитудами соответствующими коэффициентам отражения. Это позволяет сопоставить её с реальной сейсмической трассой на профиле, проходящем через скважину, по которой выполнен каротаж методами ГГК и АК, и преобразовать временной сейсмический разрез в глубинный разрез. Пример выполнения привязки временного разреза к глубине изученной каротажом скважины путем сопоставления синтетической и реальной сейсмограмм приведён на рис. 2.2.

Следует только учитывать, что толщины изучаемых геологических пластов в разрезе могут быть меньше чем длины сейсмических волн (на больших глубинах это 200 – 300 м). Проблема вертикального разрешения заключается в возможности оценки временной задержки между двумя импульсами отраженными от кровли и подошвы слоя, когда из – за малой мощности этого слоя импульсы интерферируют, образуя общий импульс сложной формы. Вертикальное разрешение оценивается по отношению к видимой длине волны.

Поэтому сейсмическая трасса представляет не последовательность разделённых во времени отражённых волн, но возможно результат наложения таких волн друг на друга. В связи с этим явлением при определении и прослеживании границ отражающих горизонтов на волновых полях целесообразно ориентироваться на точки смены полярности волновых импульсов, как это показано на рис. 2.3.

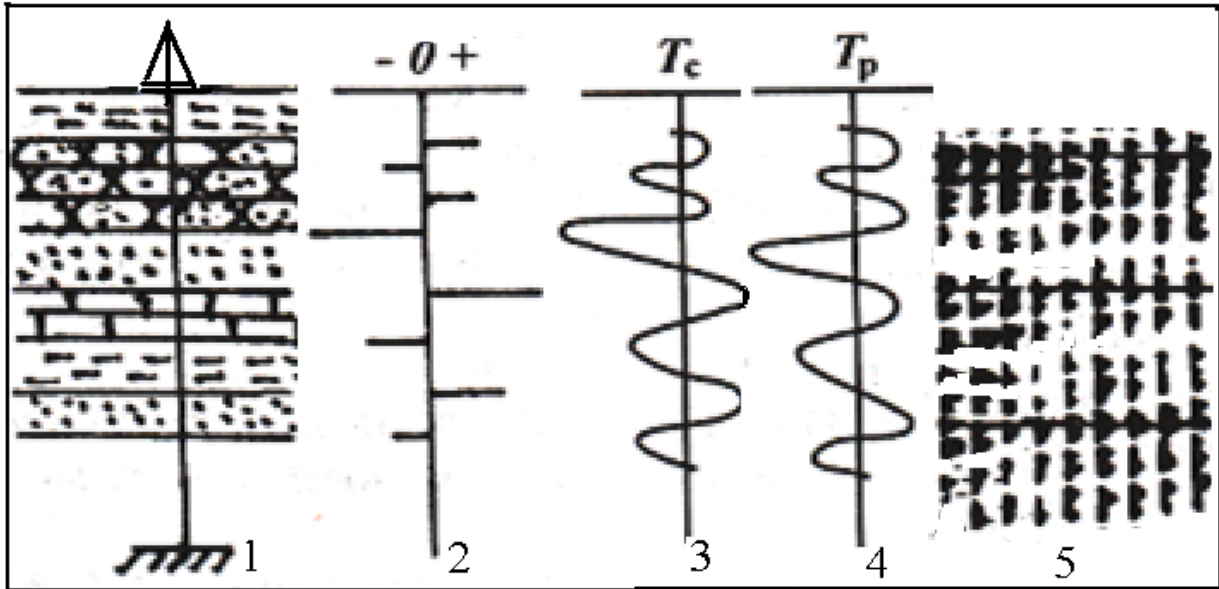


Рис. 2.2. Пример сопоставления данных изучения разреза по скважине с сейсмическим разрезом, позволяющим использовать последний для геолого-геофизического моделирования нефтяной залежи

1 – скважина с известным геологическим разрезом; 2 – графическое представление коэффициентов отражения; 3 – синтетическая трасса по скважине; 4 – сейсмическая трасса, совпадающая со скважиной; 5 – фрагмент временного сейсмического разреза, проходящего через скважину, сопоставленный со скважиной (по В. В. Стрельченко)

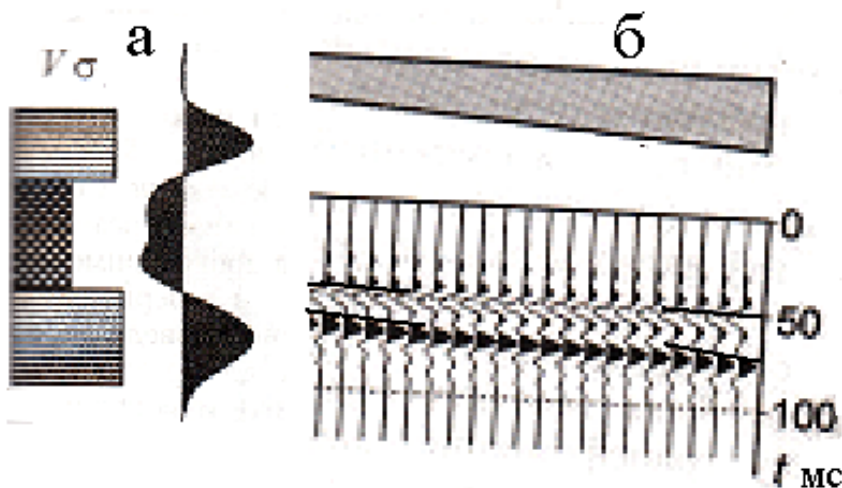


Рис. 2.3. Примеры выделения границ слоев с различными упругими свойствами по одной сейсмотрассе (а) и их совокупности (б) (по Ю. Н. Воскресенскому)

Для преобразования временных сейсмических разрезов в глубинные разрезы используют данные вертикального сейсмического профилирования (ВСП), проводимого по одной или нескольким скважинам, вскрывшим изучаемый нефтегазовый резервуар. При

ВСП устанавливается соотношение: время пробега волн – глубина в точках скважины. Суть метода иллюстрирует рис. 2.4. Данные ВСП помогают не только более точно привязать временные разрезы полевой сейсморазведки к глубинам скважин, но и получить изображение отражающих горизонтов в околоскважинном пространстве (рис. 2.4 б).

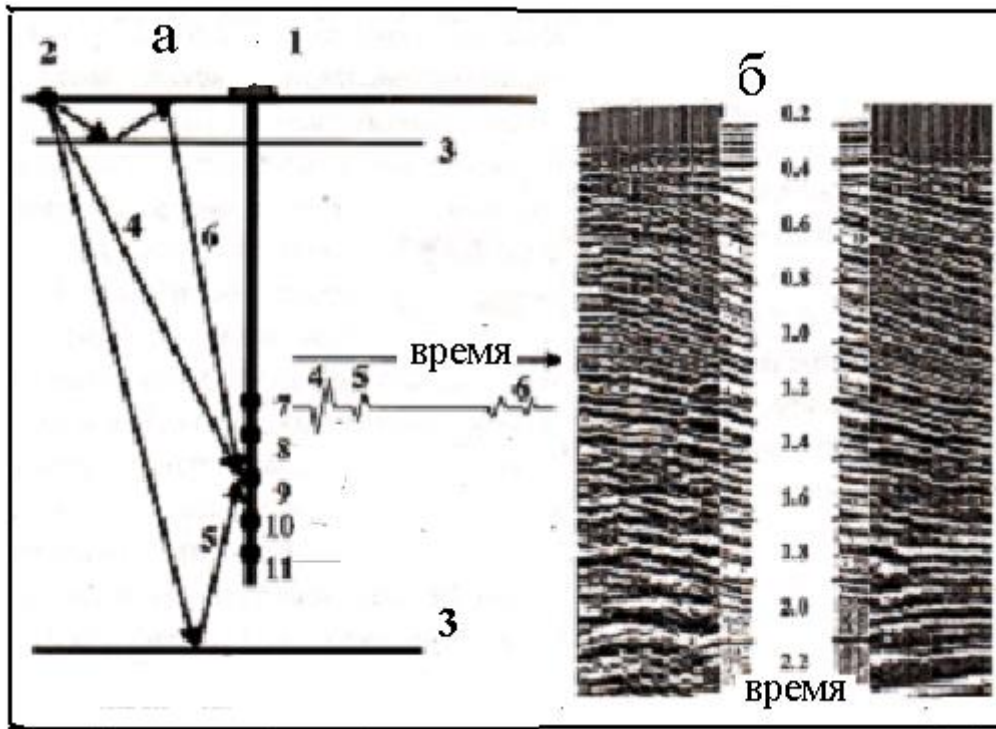


Рис. 2.4 Принцип проведения ВСП (а) и разрез волновой картины, получаемый при этом (б)

1 – скважина; 2 – источник на левом луче на земной поверхности; 3 – отражающие границы; 4 – прямая волна; 5 - отражённая восходящая волна; 6 – отражённая нисходящая волна; 7 – 11 регистрирующие датчики и одна из сейсмограмм

Одна из главных решаемых задач при проведении ВСП - это определение зависимости средней скорости  $V_{cp}$  от глубины  $H$ . Для этого строится продольный вертикальный годограф  $t(H)$ , пример которого показан на рис. 2.5. На нем выделяют интервалы, с одинаковым градиентом, которые соответствуют однородным по свойствам пластам. Далее определяют пластовую скорость  $V_{пл} = \Delta H / \Delta t$  и среднюю скорость в покрывающей толще  $V_{cp} = H/t$ .

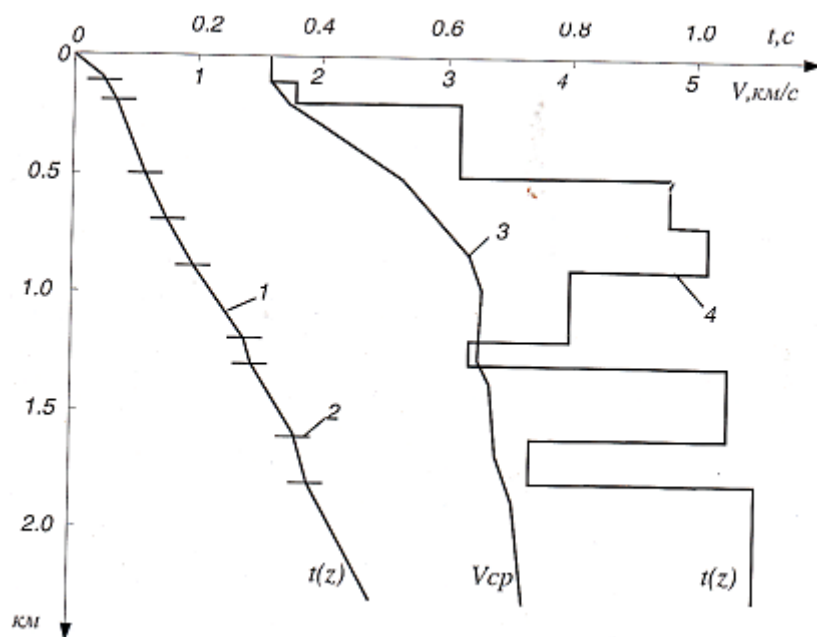


Рис. 2. 5. Пример использования вертикального годографа (1) с выделенными на нем границами пластов (2) для построения зависимости средней скорости от глубины  $z \sim H$  (3) и определения графика пластовой скорости (4)

В полевой сейсморазведке преобразование временного разреза в глубинный разрез в общем случае предполагает проведение сложной математической процедуры - миграции. Однако, используя график средних скоростей ( $V_{cp}$ ), полученный при ВСП или вычисленный по данным ГИС, шкалу глубин ( $H$ ) для совпадающей со скважиной трассы временного разреза полевой сейсморазведки с учётом двойного времени ( $t$ ) прихода волны от источника к приёмнику, можно приблизительно оценить по формуле

$$H = \sqrt{(tV)^2 - x^2} / 2, \quad (2.2)$$

где  $x$  – расстояние от источника до скважины. При больших глубинах для определения  $H$  используют приближённую зависимость:

$$H \approx tV/2. \quad (2.3)$$

Крупномасштабная детальная сейсморазведка во многих случаях фиксирует структурные особенности изучаемых нефтегазовых резервуаров. Пример фрагмента временного разреза на одном из таких объектов в интервале 1,3 – 1,6 с. приведен на рис. 2.6. На разрезе в интервале 1,3 – 1,4 с. коррелируемыми волнами с положительной

амплитудой фиксируется куполовидная кровля толщи песчаников, под экраном из глинистых отложений. Резервуар углеводородов в песчаных породах разделяется на газо и нефтенасыщенные части. Газо-нефтяной контакт, ниже которого породы имеют более высокий сейсмический импеданс, отчетливо фиксируется положительными амплитудами волн на уровне времени 1,4 с. В совокупности данные этого сейсмического временного разреза после определения масштаба глубин позволяют построить каркас нефтегазового резервуара по профилю.

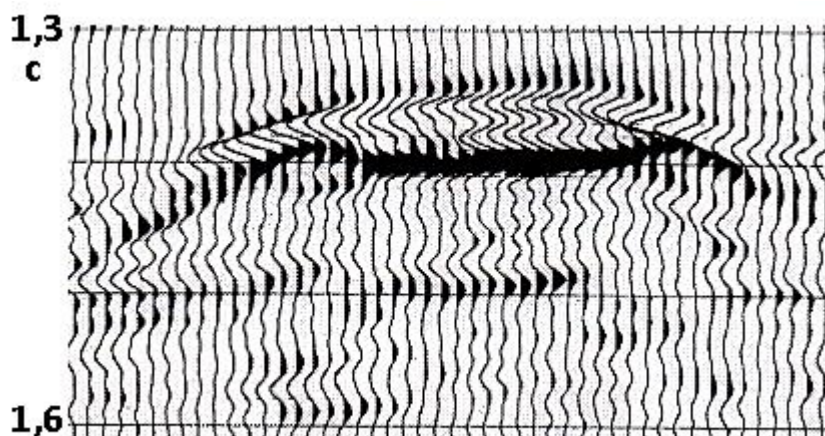


Рис. 2.6. Фрагмент временного сейсмического разреза по профилю проходящему над газонефтеносной залежью [5]

Глубинные сейсмические разрезы, полученные в результате преобразования шкалы времени в шкалу глубин, используются при решении следующих задач:

- корреляция пластов в межскважинном пространстве;
- выявление и тассирование тектонических нарушений
- картирование поверхностей коллекторов;
- уточнение пространственных контуров залежей.

### **2.3. Корреляция сейсмических горизонтов, выявление тектонических нарушений**

Корреляция заключается в прослеживании одного и того же отражающего горизонта по площади сейсмических исследований. Эта

процедура может выполняться в автоматическом или ручном режиме. Используются совокупности признаков сходства сигналов, проявляющиеся на соседних сейсмических трассах. Корреляция начинается с прослеживания опорных отражений, наиболее устойчивых на участке исследований. Часто такими опорными горизонтами служат контакты плотных пород (плотные песчаники, известняки и др.) с рыхлыми глинами. Для менее выраженных горизонтов признаки корреляции могут нарушаться по геологическим признакам (изменение литологического состава пород, плавного выклинивания), за счёт разломов, а также вследствие вариаций толщин пластов внутри отражающей пачки. И хотя сейсмические разрезы в случае малой мощности слоёв могут по глубине не идеально совпадать с геологическими границами, они помогают установить главные закономерности в пространственном размещении большинства пластов и в первую очередь продуктивных коллекторов.

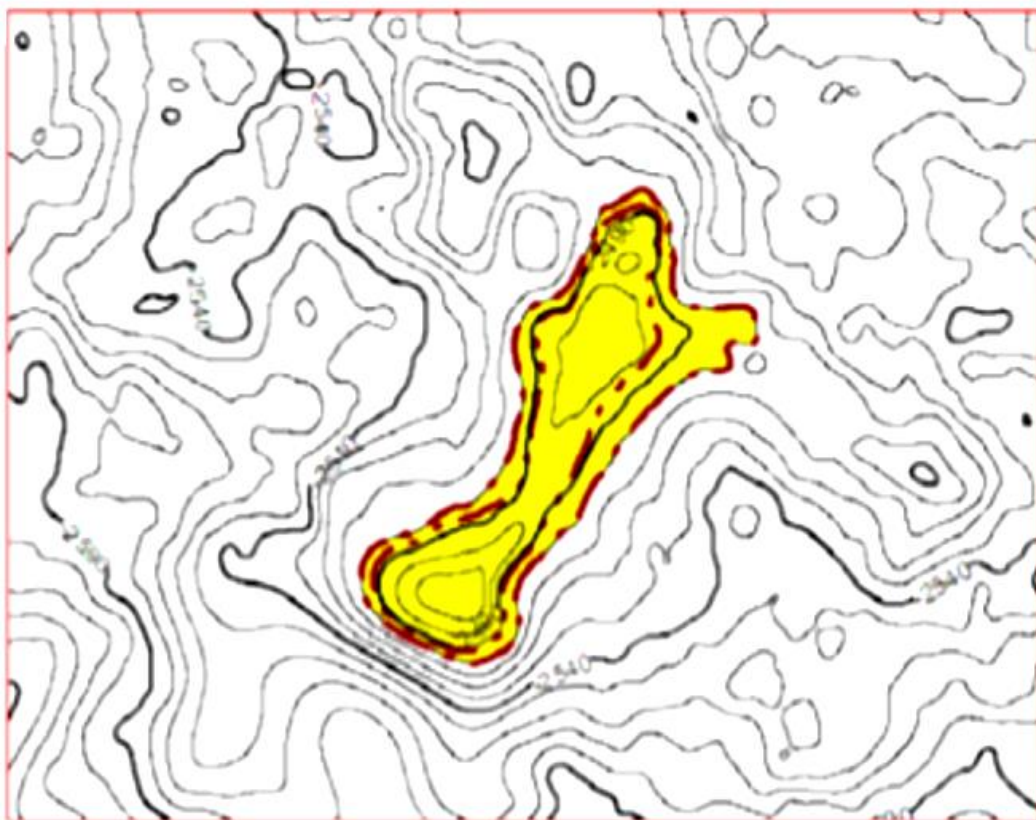


Рис. 2.6. Пример структурной карты по кровле опорного отражающего сейсмического горизонта (изолинии равных глубин кровли проведены через 10 м.) с выделенным по данным ГИС контуром залежи

Тектонические нарушения выявляют по наличию в волновом поле закономерно расположенных субвертикально ориентированных нарушений плавности в корреляции сигналов между соседними трассами, изменения времён, формы и интенсивности колебаний для отражённых волн. Примеры проявления разрывных нарушений в волновом поле можно наблюдать на рис. 1. 1.

Результаты определения положения на сейсмических профилях опорных отражающих горизонтов позволяют строить структурные карты для этих горизонтов, которые могут быть более детальными, чем структурные карты, построенные по данным ГИС. Первоочередной интерес представляют структурные карты кровли и подошвы продуктивных отложений, а также карты их мощностей. Полученные карты используют для корректировки карт данных ГИС. Пример построения по опорному горизонту структурной карты, отражающей сводовый характер изучаемого нефтегазового месторождения, показан на рис. 2.6.

#### **2.4. Сейсмические оценки изменения свойств резервуаров в период их разработки**

#### **2.4. Сейсмические оценки изменения свойств резервуаров в период их разработки**

В настоящее время применение сейсморазведки не ограничивается поисково – разведочными работами. Широко используется сейсмическая крупномасштабная съёмка на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях. Высокая разрешающая способность современных технологий позволяет фиксировать изменения свойств изучаемых объектов, связанных с извлечением углеводородов. Успехи сейсмического мониторинга резервуаров нефти и газа позволил ввести в обращение термин *4D* сейсморазведка, в котором подчеркивается использование четвертого измерения, каким является календарное время.

Передвижение флюидов в резервуаре в процессе эксплуатации приводит к изменению упругих свойств и плотности пород, связанных с замещением одних флюидов другими. Со временем изменяются в пространстве положения газо-нефтяного водо – нефтяного контактов внутри резервуаров. Это приводит к изменению распределения акустических свойств пород, что позволяет зафиксировать эти

эффекты сейсморазведкой и использовать при изучении состояния углеводородосодержащих толщ.

Принцип использования измерений 4D сейсморазведки демонстрация на уровне нефтяного пласта, зарегистрированные при одном положении системы наблюдений, но в существенно разное время. Изменение мощности нефтенасыщенного пласта после начала добычи привело к изменению сейсмотрасс по амплитудам  $\delta A$  и временным сдвигам  $\delta t$ . По этим изменениям, относимые к новым сейсмическим атрибутам делаются заключения о современном состоянии нефтенасыщенности продуктивного участка исследуемого пласта. Разностные данные амплитуд и времен, на разрезах и планах в совокупности с данными ГИС позволяют контролировать оценивать оставшиеся запасы углеводородов, следить за изменением во времени контуров нефтегазонасыщенности в сравнении с исходными сведениями. Пример регистрации изменения контура нефтенасыщенности со временем приведен на рис. 2.6.

#### **2.4. Сейсмические оценки изменения свойств резервуаров в период их разработки**

В настоящее время применение сейсморазведки не ограничивается поисково – разведочными работами. Широко используется сейсмическая крупномасштабная съемка на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях. Высокая разрешающая способность современных технологий позволяет фиксировать изменения свойств изучаемых объектов, связанных с извлечением углеводородов. Успехи сейсмического мониторинга резервуаров нефти и газа позволил ввести в обращение термин 4D сейсморазведка, в котором подчеркивается использование четвертого измерения, каким является календарное время.

Передвижение флюидов в резервуаре в процессе эксплуатации приводит к изменению упругих свойств и плотности пород, связанных с замещением одних флюидов другими. Со временем изменяются в пространстве положения газо-нефтяного водо – нефтяного контактов внутри резервуаров. Это приводит к изменению распределения акустических свойств пород, что позволяет зафиксировать эти эффекты сейсморазведкой и использовать при изучении состояния углеводородосодержащих толщ.

Принцип использования измерений 4D сейсморазведки демонстрация на уровне нефтяного пласта, зарегистрированные при одном положении системы наблюдений, но в существенно разное время. Изменение мощности нефтенасыщенного пласта после начала добычи привело к изменению сейсмотрасс по амплитудам  $\delta A$  и временным сдвигам  $\delta t$ . По этим изменениям, относимые к новым сейсмическим атрибутам делаются заключения о современном состоянии нефтенасыщенности продуктивного участка исследуемого пласта. Разностные данные амплитуд и времен, на разрезах и планах в совокупности с данными ГИС позволяют контролировать оценивать оставшиеся запасы углеводородов, следить за изменением во времени контуров нефтегазонасыщенности в сравнении с исходными сведениями. Пример регистрации изменения контура нефтенасыщенности со временем приведен на рис. 2.6.

### **3. Использование данных ГИС при формировании геолого-геофизической модели залежи нефти и газа**

#### **3.1. Данные ГИС по отдельным скважинам**

Для построения геолого-геофизической модели залежи нефти и газа используют результаты интерпретации данных ГИС по скважинам площади, включающей контур залежи. Необходимо иметь геологические колонки с выделением заведомо глинистых пород (высокие значения на диаграммах ГК, ПС, электропроводности). Обычно легко диагностируются плотные малопористые породы типа карбонатов, плотных песчаников (высокие величины плотности по ГК, УЭС, нейтронных свойств, низкие – естественной радиоактивности, интервального времени). Особый интерес представляет выделение коллекторов, для которых должны быть определены их фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС), характер и степень насыщения флюидами.

Выделение коллекторов производится по следующим признакам:

- наличие глинистой корочки (по уменьшению диаметра скважины) на кривой кавернометрии;

- существование радиального градиента сопротивлений, измеренного методами с разной глубиной исследования зондов (МКЗ, МБК, стандартные ПЗ и ГЗ, БК, ВИКИЗ или БКЗ, ИК);
- проявления аномалий, характерных для пористых, малоглинистых и проницаемых пород, на диаграммах методов ПС, ГК, НК, АК, ЯМК.

При этом могут быть использованы установленные по изучению керн и испытаний скважин и на основе опыта измерений в скважинах предельные граничные значения, определяемых при ГИС параметров для разделения горных пород на «коллектор – неколлектор» также, как это выполняется для разделения по характеру насыщения (см. рис. 3.1). Как правило, применяют несколько количественных критериев.

Для характеристики горных пород с признаками коллекторов определяют коэффициенты общей пористости ( $K_{п}$ ), эффективной пористости ( $K_{п\text{эфф}}$ ), проницаемости ( $K_{пр}$ ), по значениям которых принимается решение об отнесении горной породы к классу «коллектор» или «неколлектор».

Величины  $K_{п}$  определяют обычно несколькими способами, контролируемыми и уточняющими друг друга. Например, по измерениям плотности пород ( $\sigma$ ) в терригенном разрезе с преобладанием в скелете кварца и наличии глинистых минералов близких по плотности кварцу ( $\sigma=2,65\text{ г/см}^3$ )  $K_{п}$  можно вычислить по формуле

$$(3.1) \quad K_{п}(\%) = 160,6 - 60,6\sigma(\text{г/см}^3).$$

Пористость чистых песчаников отождествляют с пористостью матрицы ( $K_{пм}$ ) и определяют её по скважинным измерениям или по статистическим зависимостям от глубины  $H$ . Так для месторождений нефти и газа при терригенном разрезе в З.Сибири Д. А. Кожевников установил зависимость  $K_{пм}(\%) = 42,5 - 7,5H$  (км).

Эффективная пористость зависит от доли остаточной воды в поровом пространстве коллектора:

$$(3.2) \quad K_{п\text{эфф}} = K_{п}(1 - K_{во}).$$

Коэффициент остаточной водонасыщенности обычно определяют по статистическим зависимостям  $K_{во}(K_{п})$ , установленным для конкретной продуктивной залежи по результатам лабораторных измерений керна. Согласно исследованиям В. Н. Боганика для относительно неглубоко залегающих коллекторов З. Сибири справедливо

$$K_{во}=0,084 / K_{п (д.е.)}-0.18 \quad (3.3)$$

Установлено (Д. А. Кожевников), что остаточная водонасыщенность обладает свойством инвариантности, и при известной величине петрофизического инварианта  $\psi$  рекомендована модель, учитывающая глубину горной породы,

$$K_{во}=(\mu_0/K_{пм})^\psi, \quad (3.4)$$

где  $\mu_0$  – доля остаточной воды, связанной со скелетом коллектора. Для условий З.Сибири можно принять  $\psi=1-1,43(K_{пм}- K_{п})/K_{пм}$  (Кожевников Д. А., Сапожников В. М.). Тогда, например, для глубины 3 км, где  $K_{пм} \approx 0,2$  при  $K_{п}=0,15$  и для  $\mu_0=0,05$  (типичная величина) по (3.4) получим  $K_{во}=0,41$ . По опыту практики это значение ближе к реальной характеристике, чем значение 0,38, получаемое по (3.3).

Для подавляющего большинства коллекторов по Д. А. Кожевникову и К. В. Коваленко зависимость коэффициента абсолютной проницаемости  $K_{пр}$  (в  $\text{фм}^2$ ) от  $K_{п \text{эф}}$  (в %) в полулогарифмическом масштабе линейна:

$$\lg K_{пр}=0,22 K_{п \text{эф}}-1. \quad (3.5)$$

Величина  $K_{пр}$  используется для характеристики фильтрационных свойств коллектора и, как будет показано ниже, при оценке средних размеров зёрен скелета.

Оценка характера насыщения коллекторов включает их разделение на водоносные и нефтегазосодержащие. Разграничение проводят по значениям УЭС, измеренного зондами с большим радиусом исследования (БК, ИК, ВИКИЗ). Для этого строят графики накопленной частоты проявления нефтегазонасыщения и водонасыщения при конкретных значениях УЭС (для водонасыщенных коллекторов накопления частоты проводят в направлении уменьшения УЭС). По накопленным частотам определяют граничные значения или

интервалы УЭС, выше которых коллектор с большой вероятностью может считаться нефтегазосодержащим, а при меньших значениях – водоносным. На рис. 3.1 значение 8 Ом м, при котором отмечается пересечение графиков накопленной частоты, может быть принят граничным для разделения коллекторов на водоносные (меньше 8 Ом м) и нефтенасыщенные. С учётом треугольника ошибок надёжность выделения нефтенасыщенных пластов 97%. При сопротивлении ниже 6 Ом м коллектор заведомо водоносный.

При сложной структуре коллектора с прослоями глинистых или плотных пород определяется эффективная толщина нефтегазонасыщения как разность между общей толщиной коллектора и суммарной величиной непроницаемых прослоев. Для вычисления коэффициента нефтегазонасыщения  $K_{нг}$  необходимо знать параметр насыщения  $P_n$ , показывающий во сколько раз УЭС продуктивного пласта  $\rho_{нг}$  больше УЭС водоносного пласта  $\rho_{вп}$  такой же пористости. Тогда в общем случае по упрощённой формуле

$$(3.1) \quad K_{нг} = 1 - \frac{1}{\sqrt{P_n}},$$

однако при наличии дополнительных исследований этот алгоритм может быть уточнён.

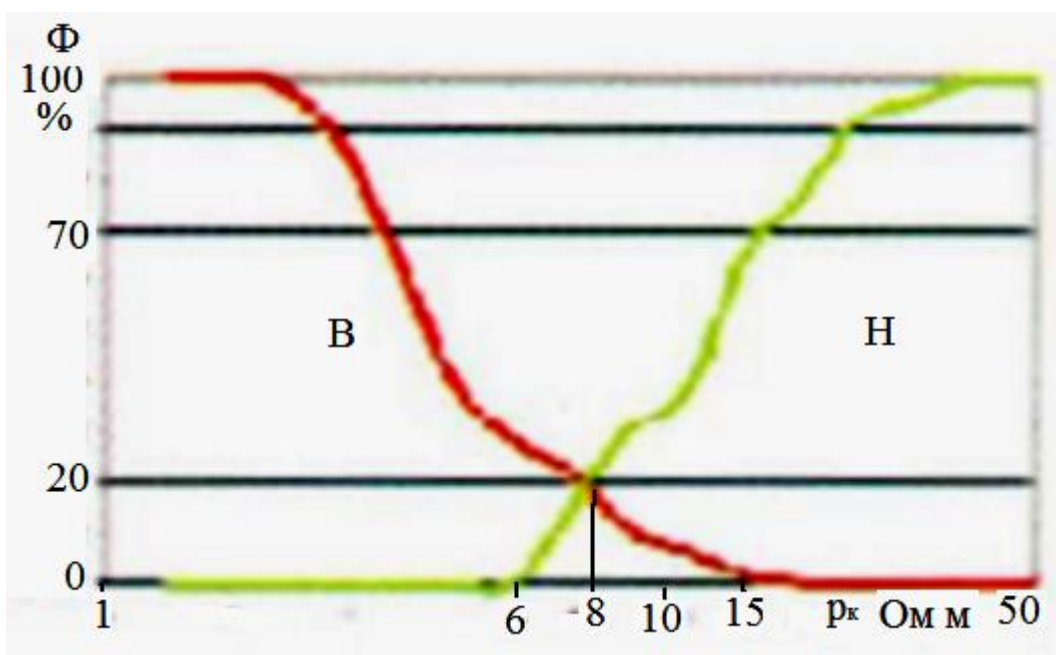


Рис. 3.1. Пример построения графиков интегральных функций распределения ( $\Phi$ ) параметра сопротивления, характерного для водоносных и нефтенасыщенных пластов, по которым осуществляется разделение их на эти классы; основание треугольника ошибок 6 – 15 Ом м

Разделение газонасыщенных и нефтенасыщенных интервалов коллектора производят по признакам индивидуальным для каждой залежи. Часто первые характеризуются более высокими сопротивлениями, специфическими аномалиями газового каротажа, диагонсцируются по данным исследования керна, результатов испытаний. Правильность характера флюидальной насыщенности продуктивных коллекторов подтверждают по данным применения НК в обсаженных скважинах. На диаграммах НК газонасыщенные коллекторы имеют заметно большие значения по сравнению с нефтенасыщенными коллекторами. Те же в свою очередь отличаются более высокими показаниями от водоносных коллекторов. В открытом же стволе разграничить коллекторы с одинаковой пористой, но насыщенных различными флюидами по данным ГИС удается по данным ИК при мощности слоя больше 4 м. Маломощные пласты классифицируются неоднозначно. Малоизвестный способ рассмотрен в разделе 6.

Результаты определения положения на сейсмических профилях опорных отражающих горизонтов позволяют строить структурные карты для этих горизонтов, которые могут быть более детальными, чем структурные карты, построенные по данным ГИС. Первоочередной интерес представляют структурные карты кровли и подошвы продуктивных отложений, а также карты их мощностей. Полученные карты используют для корректировки карт данных ГИС. Пример построения по опорному горизонту структурной карты, отражающей сводовый характер изучаемого нефтегазового месторождения, показан на рис. 2.6.

### **3.2. Подготовка данных ГИС для интерпретации сейсморазведки**

По скважинам, находящимся на сейсмических профилях и в первую очередь по тем из них, в которых выполнено ВСП, проводят дополнительную интерпретацию данных ГИС. Цель – уточнение привязки сейсмических отражающих горизонтов к геологическому

разрезу, привязка временных разрезов к продуктивным горизонтам. По этим скважинам должны быть выполнены измерения методами АК и ГГК. Используемые при этом диаграммы плотности ( $\sigma$ ) и интервального времени ( $\Delta T$ ) должны охарактеризовать не только пласты – коллекторы, но и другие слои с контрастным изменением физических свойств, которые рассматриваются как опорные горизонты. К ним относятся прослой плотных пород, глины и др. Обработка кривых заключается в расчленении разреза на прослой, отличающиеся по показаниям друг от друга не менее чем на 20% и по толщине должны быть не менее, чем 5 – 6 м. Могут быть выделены и прослой меньшей толщины (1- 2 м), если они резко отличаются по показаниям от окружающих пород и встречены в нескольких скважинах. По кривым  $\Delta T$  определяют пластовую скорость  $V_{пл}$ .

По результатам обработки диаграмм строятся графики сейсмического импеданса ( $G=\sigma \cdot V_{пл}$ ), коэффициента отражения  $R$  и синтетическая трасса (см. рис. 2.1 и 2.2). При наличии данных ВСП для скважины приводится график средней скорости  $V$ . Значения  $V$  используются для определения глубины залегания отражающих горизонтов на временных сейсмических разрезах по формулам (2.2) или (2.3). Обычно рядом с шкалой времени прихода отраженных волн в мс. строится шкала глубин в м. Контроль за соответствием шкал производится с ориентировкой на синтетические трассы по скважинам.

Это позволяет использовать глубинные сейсмические разрезы при построении геологических разрезов по данным ГИС.

### 3.3 Корреляция разрезов скважин

Корреляция разрезов скважин является основным методом изучения внутреннего строения недр. На месторождениях в первую очередь представляет интерес выделение и прослеживание в геологической среде пластов-коллекторов и непроницаемых слоев, играющих роль флюидозкранов, и вклинивавшихся между проницаемыми породами.

Корреляция делится на литологическую и стратиграфическую, которые взаимосвязаны. Уже на ранней стадии разведки формируются типовой или сводный геолого-геофизические разрезы. При корреляции обычно опираются на типовой (осреднённый) разрез, на

котором отражена последовательность геологических напластований с литологическими и геофизическими характеристиками, а также со стратиграфической привязкой толщ однородного или многопластового строения. В качестве типового разреза может быть принят разрез по одной из скважин, в которой изучаемый разрез геологической среды представлен наиболее полно.

Корреляция разрезов целесообразно начинать с построения профильных геолого-геофизических разрезов, на которых имеется ряд скважин, проведены полевая и скважинная сейсморазведка. Для таких профилей, и в первую очередь проложенных вкрест простирания структуры, строят геоакустические модели по отдельным скважинам и для каждого профиля. Путём сопоставления синтетических и измеренных сейсмотрасс, а также определения по данным ВСП шкалы глубин для временных разрезов, появляется возможность использования последних в качестве основы при корреляции скважин.

На сейсмических профильных разрезах в первую очередь выделяются и коррелируются отражающие горизонты - реперы, которые наиболее чётко выделяются на сеймотрассах, выдержаны по профилю и квалифицируются по геологическим признакам. Откоррелированные в вертикальной плоскости горизонты - реперы рассматриваются как костяк геолого – геофизических разрезов. Обычно сейсмические репера являются границами и для детальных разрезов, которые строятся по данным ГИС. Сейсмогеологические разрезы строят в одинаковых или разных масштабах по глубине и горизонтали.

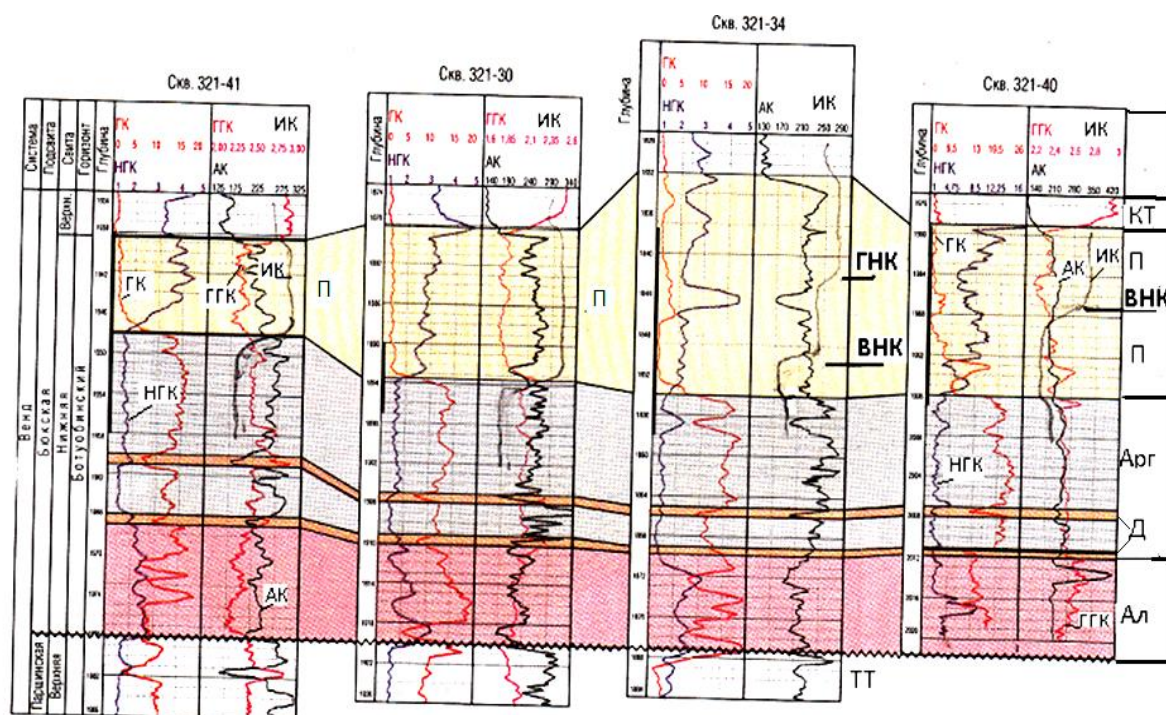


Рис. 3.2. Пример корреляционной схемы по разведочному профилю нефтегазового месторождения Породы разреза: КТ –карбонатная толща; П –песчаники; Арг – аргиллиты; Д – доломиты; Ал – алевролиты ; ТТ – терригенная толща

Для детальной литологической корреляции разрезов скважин применяют методы ГИС, наиболее чувствительные к изменению состава горных пород, или же для этой цели используют уже построенные литологические колонки. На схемах детальной корреляции в последовательности, соответствующей расположению скважин, размещают диаграммы ГИС, выравнивая их точно и приблизительно по реперным границам. Пример представления схемы корреляции по скважинам нефтегазового месторождения приведён на рис. 3.2.

Вначале корреляция осуществляется по реперам. Как и на сейсмических разрезах наиболее чётко выделяются границы между глинистыми и плотными (карбонаты, плотные песчаники, соли) породами. Контроль осуществляется по сейсмогеологическим разрезам, но с учётом возможных небольших отклонений в глубинах. Затем соединяются границы между однотипными по геофизическим признакам пластами и прослоями, которые могут иметь переменную толщину.

На участках выклинивания пластов – коллекторов, связанных с появлением непроницаемых пород, необходимо определять не

только положение границ замещения и выклинивания пород коллекторов, но и устанавливать природу выклинивания. Типичные модели замещения пород – коллекторов приведены на рис. 3.3.

Обычно выделяется два типа границ литологического экранирования:

- потеря пластом коллекторских свойств при сохранении его толщины, которое может происходить на очень небольших расстояниях, и их трудно прогнозировать без использования дополнительных данных.

- постепенное уменьшение толщины пласта до нуля по различным геологическим причинам – стратиграфическое срезание, тектоническое нарушение и др.

Основными источниками информации для определения геологической природы и положения границ замещения (выклинивания) являются данные бурения, ГИС, детальной сейсморазведки и др. Подсказку могут дать результаты корреляции по соседним профилям. Типичные модели замещения пород – коллекторов приведены на рис. 3.3.

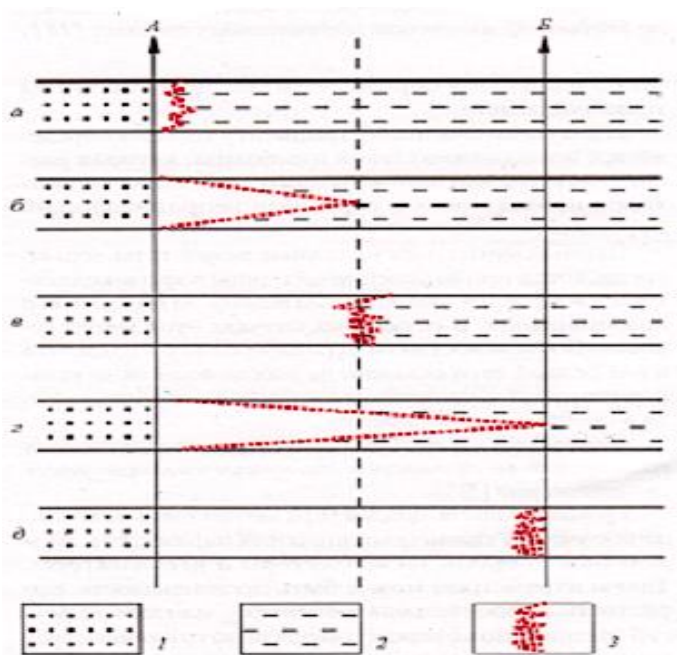


Рис. 3.3. Модели замещения коллекторов в межскважинном пространстве скважин А (скрышей коллектор) и В (пробуренной в зоне отсутствия коллектора)  
1 – коллектор; 2 – неколлектор; 3 – зона замещения пород - коллекторов неколлекторами [5]

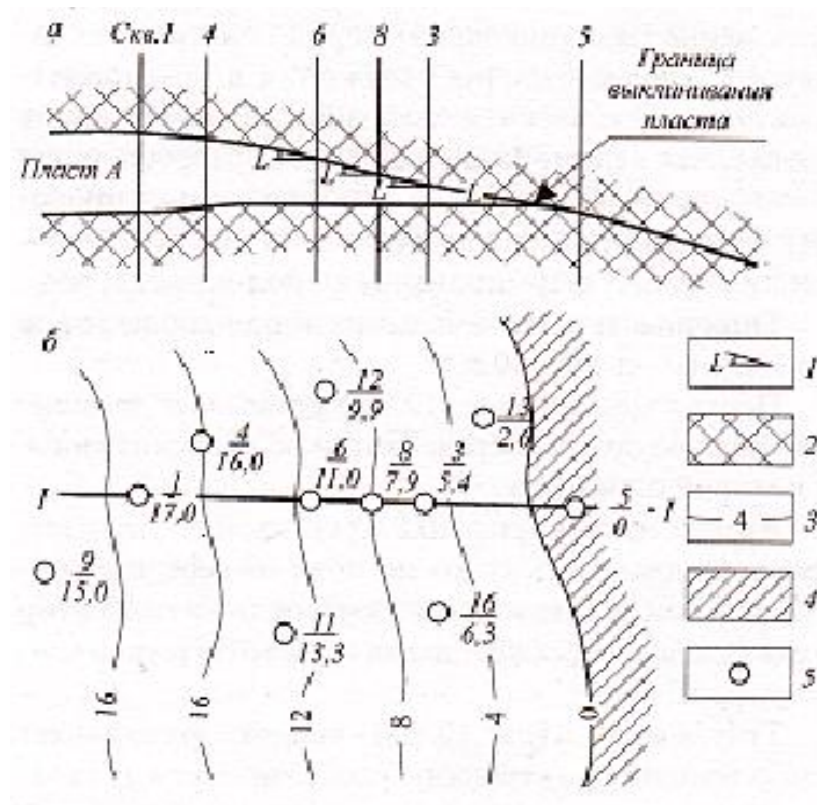
Замещение коллектора может происходить непосредственно вблизи скважины, в которой он вскрыт (рис. 3.3 а) или уменьшение толщины коллектора происходит на середине расстояния между

скважинами А и Б (рис. 3.3 б). Возможен случай, когда коллектор сохраняет свою толщину до середины расстояния между скважинами и затем резко она резко уменьшается до нуля (рис. 3.3 в).

На следующих моделях коллектор плавно или резко выклинивается к скважине, в которой он отсутствует (рис. 3.3 г и д). Определенную помощь в выборе модели выклинивания коллектора может оказать сейсмогеологический разрез.

Одним из методов определения линии выклинивания является метод экстраполяции градиента изменения эффективной толщины пласта на участке предполагаемого выклинивания. Для этого по данным замеров в скважинах толщин исследуемого пласта строится карта толщин по площади и определяется градиент изменения толщины пласта. По установленному градиенту изменения толщин определяется положение нулевой изопакиты, которая рассматривается как линия полного замещения коллектора продуктивного горизонта непроницаемыми породами (рис. 3.4).

Рис. 3.4. Пример определения границ выклинивания пласта по градиенту изменения эффективных толщин



Цифры у скважин в м.:числитель – градиент изменения толщины, знаменатель – толщина коллектора [5]

Несогласное залегание свидетельствует о том, что последовательность напластования нарушена в результате перерывов в осадконакоплении, размывов, тектонических нарушений.

Корреляция разрезов скважин может осуществляться попарно между ближайшими скважинами, находящимися на разных разведочных профилях, по принципу создания триангуляционной сети. На плане показываются скважины, в которых получены пересечения коллектора и рёбрами триангуляции обозначается связь между этими пересечениями. Триангуляционная сеть объединяет скважины пересечения коллектора единой залежи (рис. 3.5).

При большом количестве скважин и наличии нескольких продуктивных пластов с разным временем их формирования корреляция разрезов скважин может осуществляться в автоматическом режиме с применением специальных программ.

В качестве примера на рис. 3.2 приведена корреляционная схема по профилю скважин на нефтегазовом месторождении, обнаруженным в верхневендских песчаных отложениях. По совокупности диаграмм ГИС (ГК, НК, ГГК и АК) в изучаемом разрезе чётко выделяются несколько толщ, сформированных в разных условиях и времени, и квалифицированных как горизонты. Приводимые на корреляционной схеме диаграммы ИК связаны с влиянием не только литологии, но и с характером насыщения коллекторов, поэтому они использованы в корреляционной схеме для увязки пород — неколлекторов, а в дальнейшем — для определения характера и степени флюидонасыщения.

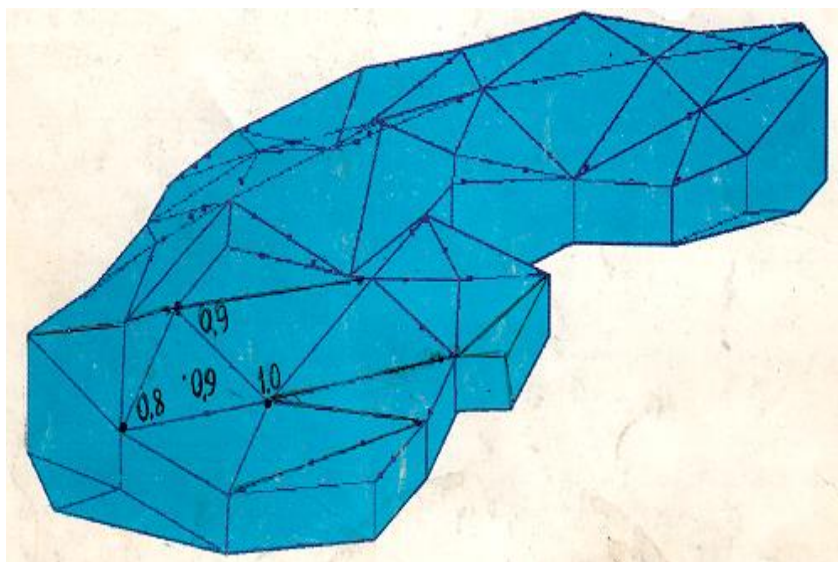


Рис. 3.5. Пример представления результатов попарной корреляции скважин, имеющих пересечения единой залежи, в виде триангуляционной сети с некоторыми значениями показателя линейного нефтегазонасыщения для точек в узлах сетки (скважины) и его средние значения для ячейки сетки

Центральное место занимает стратиграфический горизонт, получивший название Ботубинский. Сверху он перекрыт плотными, малоглинистыми, низкопористыми, высокоомными и высокоскоростными отложениями с характерными признаками карбонатов.

Карбонатная толща является покрывкой для толщи песчаников в верхах Ботубинского горизонта, характеризующихся по сравнению с породами покрывки по диаграммам НГК более высокой пористостью и меньшей плотностью (АК, ГГК). На диаграммах ИК карбонатная толща отличается от песчаников пониженной проводимостью. Подстилают толщу песчаников непроницаемые аргиллиты, имеющие повышенную радиоактивность (ГК). Корреляции разрезов скважин помогает наличие в аргиллитах маломощных прослоев доломитов, играющих роль реперов. Особенно чётко они заметны на диаграммах АК.

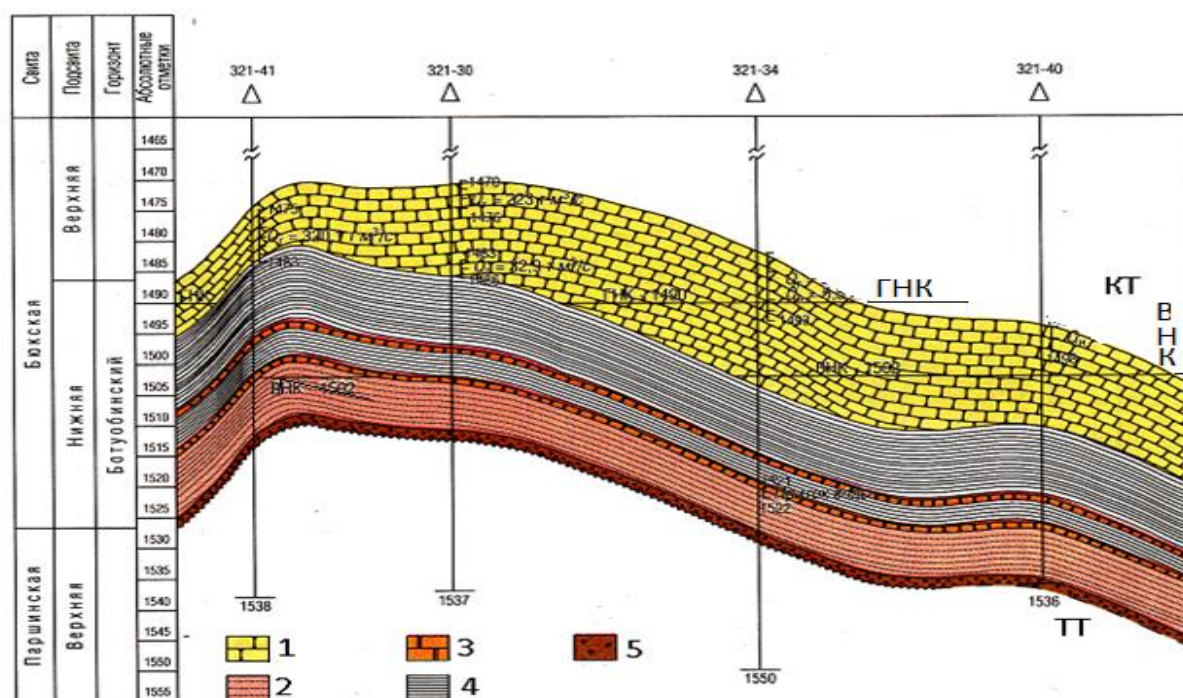


Рис.3.6. Геологический разрез, построенный с использованием корреляционной схемы (см. рис. 3.2)  
 Породы: 1- песчаники; 2 – алевролиты; 3 – доломиты; 4 – аргиллиты; 5 - брекчия; КТ – карбонатная толща; ТТ – терригенная толща ( А. Е. Рыжов и др.)

Толща песчаников по емкостным свойствам занимает промежуточное положение между карбонатной покрывкой и подстилающими аргиллитами. Наиболее четко это заметно по диаграммам НГК, ГГК и АК. Фиксирующие в основании Ботубинского горизонта алевролиты залегают с размывом на преимущественно глинистой толще. О существовании размыва свидетельствует маломощный слой брекчии с аномальными свойствами, проявившимся особенно

чётко на диаграммах ГИС в скв. 321-30. Признаки брекчирования проявляются локальными положительными аномалиями естественной радиоактивности в верхах терригенной толщи в низах рассматриваемого разреза.

Полученная по результатам корреляции разрезов скважин профильный геологический разрез может рассматриваться как статическая геологическая модель изучаемой структуры (рис. 3.2). Она включает в себя и модель залежи нефти и газа поскольку на ней отражается распределение продуктивных коллекторов и экранирующих пород. В результате анализа обобщённых геолого-геофизических данных удаётся восстановить историю формирования природного резервуара с образованием ловушки для накопления углеводородов и образования продуктивной залежи.

Основание структуры месторождения сложено переслаивающимися алевролитами и аргиллитами, образовавшими терригенную толщу (ТТ), сформировавшуюся в морских условиях. В результате регрессии моря произошло его обмеление и рассматриваемый участок оказался в прибрежной зоне. Благодаря этому за счёт сноса с берега укрупнённого обломочного материала на мелководье сформировались отложения, превратившиеся впоследствии в песчаники с повышенными пористостью и проницаемостью, имеющими признаки коллекторов.

В результате очередной резкой трансгрессии моря песчаные отложения оказались отодвинутыми от берега и над ними начали накапливаться известняки. Пористые образования оказались запечатанными плотной и практически непроницаемой карбонатной толщей (КТ), а снизу их ограничили также непроницаемые глинистые отложения, превратившиеся впоследствии в аргиллиты. В результате образовалась ловушка, благодаря наличию которой сюда по субвертикальным дистрикциям просочились углеводороды и здесь сформировалась нефтегазовая залежь. По данным метода ИК удаётся выделить в месторождении газовую шапку (по интервалам с низкой электропроводностью), нефтенасыщенный слой и ту часть песчаников, где сохранилось водонасыщение (по интервалам с повышенной электропроводностью). Для расчленения коллектора на интервалы, насыщенные различными флюидами, с учётом совокупности данных (газовый каротаж, исследования керна и шлама, испытания в скважинах, фиксация притоков) были предварительно опреде-

лены граничные значения сопротивления для ГНК и ВНК, подобно тому, как это показано на рис. 3.1.

## **4. Палеотектонический, седиментационный и фациальный анализ**

### **4.1. Палеотектонический анализ**

Палеотектонический анализ выполняется с целью оценки влияния тектонических процессов в период седиментации и позднее на историю формирования природных резервуаров, включающих залежи нефти и газа. Получаемые результаты углубляют представления о седиментационных циклах изучаемых отложений, что способствует построению геолого-геофизической модели месторождения.

Палеотектонический анализ состоит в применении палеоструктурных карт и палеопрофилей, методика построения которых основана на установлении толщин стратиграфических пачек пород в соответствующие периоды их формирования. По изменениям толщин отдельных горизонтов судят об амплитудах тектонических движений. Считается, что при подъёме горизонта происходит уменьшение его мощности и подъём кровли нижележащего горизонта. При опускании мощность горизонта увеличивается.

В комплексе осадочных пород, принимающих участие в геологическом строении складки, выбираются реперы, чётко прослеживающиеся в пределах изученной площади. Каждый репер ввиду ограниченности исследуемого участка (локальные структуры) может быть принят за нулевую горизонтальную плоскость, от которой строятся палеоструктурные карты поверхности горизонта, формирование структуры которого является объектом исследования. Подобным же образом строятся палеопрофили, отражающие распределение мощности от выбранного репера до поверхности подошвы исследуемого горизонта. Такой подход позволяет отвлечься от совре-

менного строения разреза и представить конфигурацию исследуемой толщи в период завершения её формирования.

Палеотектоническая карта фактически представляет собой карту толщин стратиграфического горизонта. Такие карты наиболее наглядны и информативны для решения задач палеотектонического анализа. Они позволяют рассмотреть информацию о конседиментационном прогибании дна осадочного бассейна в различные периоды и реконструировать этапы развития потенциальных ловушек углеводородов с прогнозом характера их насыщения.

Более наглядно оценить характер тектонических движений в заданных направлениях можно по палеотектоническим разрезам. Они последовательно строятся от кровли выровненного (в виде горизонтальной линии) стратиграфического горизонта путём откладывания толщины этого горизонта вниз. В результате получают набор палеотектонических профилей.

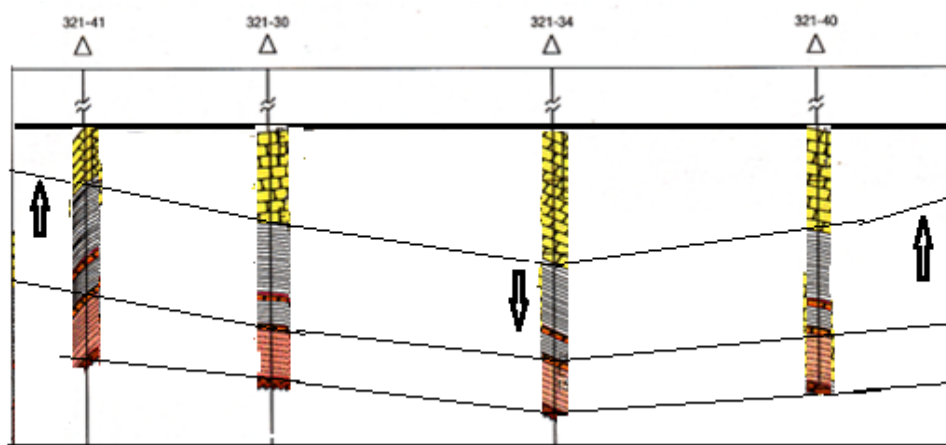


Рис. 4.1 Пример палеореконструированного горизонта песчаной толщи из разреза рис. 3.6

В качестве примера на рис. 4.1 приводится палеотектонический профиль для продуктивной толщи песчаников нефтегазового месторождения, современный разрез для которого показан на рис. 3.6. На корреляционной схеме месторождения, представленной с выравниванием по кровле нижней терригенной толщи, и палеотектоническом профиле толщи песчаников видно, что в начальный период формирования низов ботубинского горизонта условия седиментогенеза на изучаемой территории были одинаковы. На это указывают одинаковые мощности глинистых пород по всем скважинам разведочного профиля (рис. 3.2 и 4.1). Когда же стали накапливаться собственно ботубинские песчаники физико-химические условия осадконакопления претерпели существенные изменения. Следствием этих изменений в первую очередь стало то, что в западном направ-

лении происходило поднятие дна бассейна с формированием в этом направлении береговой линии. Одновременно происходило погружение дна в районе центральной части рассматриваемого профиля с увеличением толщины песчаной толщи.

Помимо наглядного графического способа палеотектонического анализа применяют графо-аналитическую обработку значений толщин. Модели палеотектонических процессов строятся на основе математической статистики. При этом устанавливают графики зависимости абсолютных глубин базисной поверхности от толщины изучаемого стратиграфического интервала с помощью линейного уравнения зависимости толщины стратиграфического интервала от абсолютной отметки глубины залегания базисного горизонта. Определяемые при этом коэффициенты уравнения имеют определённый геологический смысл.

## **4.2. Седиментационный анализ**

Разрезы, сложенные осадочными породами представляют собой чередование пластов различного литологического состава, возраст которых последовательно уменьшается снизу вверх. При согласном залегании пластов их чередование представляет собой закономерную последовательность, которая в разрезах вскрытых разными скважинами, одинакова. При несогласном залегании пластов последовательность напластования нарушена в результате перерывов в осадконакоплении, размывов, тектонических нарушений. Это проявляется в постепенном изменении толщины отложений, в выпадении или повторении в разрезах соседних скважин пластов или больших интервалов разреза. Условия седиментации устанавливаются при стратиграфической корреляции разрезов, заключающейся в выделении и объединении разновозрастных слоёв иногда даже разного литологического состава. Такая картина наблюдается в результате латерального изменения фаций.

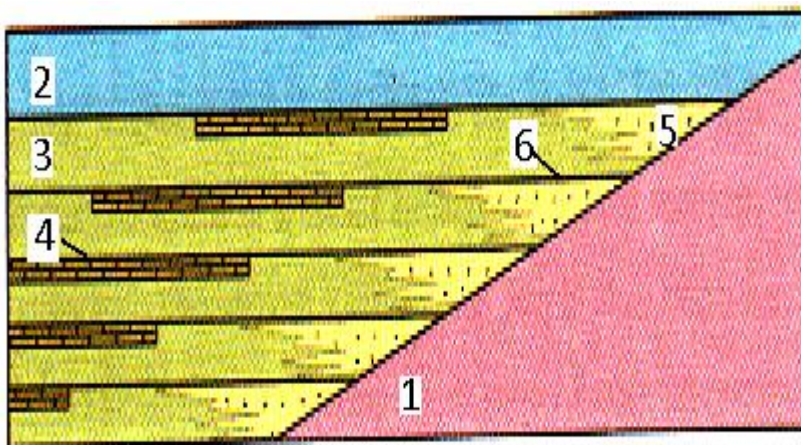
Седиментационный анализ предполагает разделение осадочных отложений на седиментационные циклы, часто именуемые как толщи непрерывного наращивания, во времени протекания однонаправленного геологического процесса. Поскольку при таком процессе во многих случаях энергия среды осадконакопления возрастает (регрессивный характер разреза) либо убывает (трангрессивный характер разреза), седиментационные циклы проявляются в геологиче-

ском разрезе в виде определённой последовательности смены литотипов (парагенетические ряды). Смена литотипов свидетельствует о смене фациальной обстановки осадконакопления. Но поскольку различные литотипы имеют разные физические свойства, существует возможность выделять седиментационные циклы по данным ГИС, применяя при этом знания о теоретически существующих геологических структурах.

Установлено, что при применении полного комплекса методов ГИС можно выделять до 30 разновидностей осадочных пород, что позволяет с одной стороны построить детальный разрез изучаемого интервала, а с другой стороны обосновать возможность объединения нескольких литотипов в единый седиментационный цикл. Непрерывная информация о процессе осадконакопления, устанавливаемая по диаграммам каротажа, даёт возможность проследить за изменением литологической характеристики объекта и доказать, что эти изменения происходили в период единого седиментационного цикла.

Процесс расчленения разрезов скважин начинается с выделения устойчивых стратиграфических границ. Их определяют по реперам, роль которых играют выдержанные по площади и толщине пласты, литологически заметно отличающиеся от выше и ниже лежащих отложений. Если пласт имеет характерную, ярко выраженную на диаграммах ГИС поверхность, её называют реперной границей. Например, в рассмотренном выше нефтегазовом месторождении верхней реперной границей для стратиграфической ботубинской толщи с продуктивным пластом песчаников является подошва горизонта карбонатов, а нижнюю реперную границу можно отождествлять с размытой кровлей преимущественно глинистой терригенной толщи, начинающейся с прослоя брекчий. Обе эти реперные границы чётко фиксируются резкими скачками физических свойств на диаграммах всех методов ГИС (см. рис. 3. 2 и 3. 6).

Внутри выделяемых стратиграфических интервалов, как правило, существуют нерегулярные границы между литологически раз-



личными отложениями. Для обоснования корреляции нерегулярных границ необходимо установить характер цикличности

и закономерности в наращивании разреза, причиной которого являются конседиментационные тектонические процессы.

Рис. 4.2 Пример модели разреза с серией трансгрессивных седиментационных циклов

1 – континентальный склон; 2 – уровень моря; 3 – глины; 4 – карбонаты; 5 – песчаники; 6 – стратиграфические границы – уровни стояния моря [2]

Закономерность изменения толщин и связанное с ней вероятное положение нерегулярных стратиграфических границ позволяет установить палеотектонический анализ. Так для разреза на рис.3. 6 и 4. 1 нерегулярная граница может быть выделена между песчаниками и аргиллитами в пределах ботубинского горизонта. Проявление этой границы вызвано, как показано выше, сменой условий осадконакопления.

Вследствие устойчивого процесса однонаправленного процесса трансгрессии или регрессии моря может быть выделено большое количество однотипных седиментационных циклов. Примером может служить модель серии трансгрессивных седиментационных циклов, представленная на рис. 4.2.

Выделение седиментационных циклов имеет принципиально важное значение в процессе построения геологической модели месторождения и особенно модели объекта подсчёта запасов и его разработки.

### 4.3 Фациальный анализ

При фациальном анализе решается задача по выяснению физико – географической обстановки формирования отложений, включающих продуктивные коллекторы. Единый принцип фациального анализа основан на том, что отложения каждой фации формировались в условиях определенных палеогидродинамических режимов (уровней). Это даёт возможность определить для каждой фации свою седиментационную модель, отражающую свойственную только данной фации последовательную смену палеогидродинамических уровней во времени.

Информацию о фациальной обстановке среды осадконакопления получают методами: геологическими, сейсмо - стратиграфическими, промыслово - геофизическими. Вклад фациальной интерпретации данных ГИС в общий комплекс этих методов может быть весьма

существенным, несмотря на то, что многие характеристики фациальной обстановки получаются косвенным путём.

Прежде всего это касается определения характерных литотипов, по присутствию которых в разрезе делается заключение об обстановке накопления осадочных толщ. В разделе 1 показано, что разделяются фации континентальных, прибрежно-морских и глубоководно-морских отложений. Так преобладание в изучаемой толще карбонатов свидетельствует о морской обстановке осадконакопления. При терригенном разрезе с прослоями известняков делается вывод о прибрежно - морской фации осадков. Преобладание песчано-аллювиальных отложений характерно для фаций континента.

Разнятся литотипы, сформированные в различных условиях и по ряду свойств. Например, в континентальных отложениях глины значительно более высокоомны, чем это характерно для морских глин. При анализе содержания естественных радиоактивных элементов (спектрометрический вариант ГК) установлено, что в континентальных глинах преобладает торий, а в морских - уран. Это связано с существованием фациально невыдержанных отложений, типичных для континентального и прибрежно - морского и дельтового генезиса, когда нарушается корреляция тел – коллекторов в пределах относительно небольших территорий. В таких условиях целесообразно свиты отождествлять с отдельными литологическими разностями, надёжно фиксирующие изменение климата или тектонических условий. В разрезе тогда выделяют ритмосвиты, которые образуют каркас стратиграфических схем. И хотя строение ритмосвит по площади может изменяться с выпадением отдельных составляющих, они объединяют горные породы, сформировавшиеся в близких фациальных условиях.

В качестве примера можно сослаться на рис.1.8, на котором изображены диаграммы электростратиграфии для разреза, отражающего действие регрессии моря с формированием группы фаций. Из него видно, что наряду с существованием стабильных условий для образования отложений в морском мелководье, выделяется группа фаций, связанных с временным отступлением моря на площади существования дельты крупной реки, то в надводных, то в подводных условиях. Это привело к образованию группы фаций, которые можно объединять в единую ритмофацию.

Детальное фациальное расчленение осадочных толщ возможно по параметрам, определяемым по данным ГИС. Например, по сред-

нему  $d_m$  (медианному) размеру зёрен, который характеризует энергию осадконакопления, и позволяет уточнить фаціальную принадлежность отложений. Предпосылки для этого имеют методы ПС и ГК, по показаниям которых (по параметру  $\alpha$ ) устанавливают зависимости для оценки  $d_m$ . Согласно исследованиям В. С. Муромцева связь между  $d_m$  (мм) и  $\alpha_{ПС}$  близка к прямой с уравнением

$$(4.1) \quad \lg d_m = 2\alpha_{ПС} - 2,4.$$

Т. С. Изотова обосновала формулу, связывающую  $d_m$  (мкм) с коэффициентами пористости  $K_{п}$  (д.е.) и проницаемости  $K_{пр}$  (мкм<sup>2</sup>):

$$(4.2) \quad d_m = A(1 - K_{п}) / (0,0556 K_{п}^3 / K_{пр})^{1/2},$$

где  $A=6$  для уплотнённых пород и  $A=12$  для коллекторов.

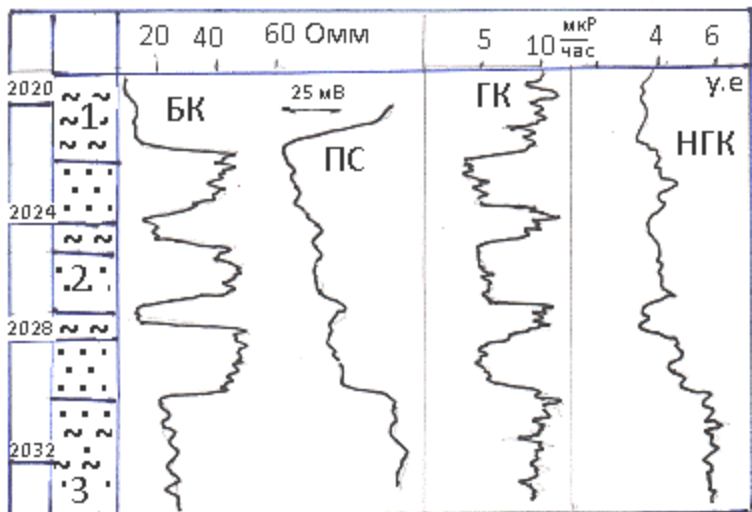
Предложен ряд способов для количественной оценки неоднородности пластов, позволяющих судить о фаціальной принадлежности горных пород и в первую очередь коллекторов. Одновременно определяются условия добычи нефти или газа из этих объектов.

Часто вычисляют коэффициент песчанистости интервалов разреза мощностью  $H$ , в котором песчаник содержит глинистые или карбонатные непроницаемые прослои с общей их толщиной  $h$

$$K_{песч} = (H-h)/H. \quad (4.3)$$

Для оценки текстуры пачки чередующихся пропластков литотипов вычисляют текстурный коэффициент  $C_T$

$$C_T = h_{ср}/n, \quad (4.4)$$



где  $h_{ср}$  – средняя толщина литотипа, а  $n$  – количество пропластков в пачке.

Рис.4.3. Пример диаграмм ГИС для неоднородного пласта - коллектора, по показаниям которых вычислены характеристики его неоднородности

Количественный анализ неоднородности пластов толщиной  $H$  с количеством  $N$  пропластков коллектора общей толщиной  $H_k$  производят с помощью коэффициента расчленённости  $K_P$

$$K_P = H_k / H \cdot N, \quad (4.5)$$

а также по вычислениям интегрированного коэффициента неоднородности пласта  $K_H$  с учётом минимальной и максимальной пористости исследуемого пласта в разрезе скважины

$$K_H = K_P \cdot \frac{K_{п \text{ макс.}}}{K_{п \text{ мин.}}} \quad (4.6)$$

Для примера на рис. 4.3 приведен фрагмент разреза с неоднородным пластом песчаников и диаграммы методов ГИС. Пласт песчаников общей мощностью 8 м содержит два прослоя глины толщиной 1 м каждый. Пористость песчаных частей пласта находится в пределах 0,2 – 0,25, т.е. они обладают коллекторскими свойствами. Вычисляя для данного пласта по приведённым выше формулам характеристики неоднородности, получим:  $K_{\text{пес}}=0,75$ ;  $C_T=0,4$ ;  $K_P=0,25$ ;  $K_H=0,25$ .

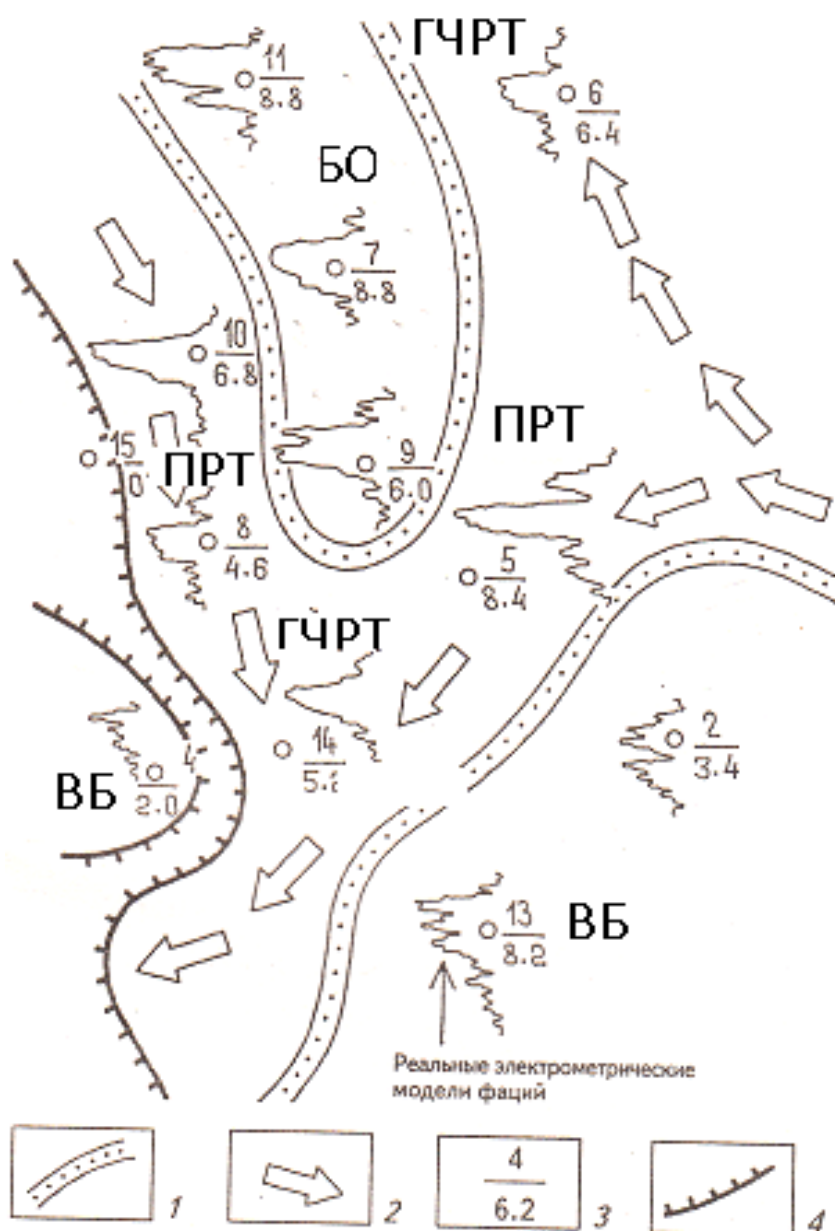
Для вскрытого на этом же месторождении однородного пласта песчаников приблизительно такой же мощности, пористость которого колеблется от 0,26 до 0,20 (с глубиной увеличивается глинистость пласта), имеем  $K_{\text{пес}}=1$ ;  $C_T=1$ ,  $K_H=1$ ;  $K_H=0,77$ . Характерно, что упомянутые пласты резко отличались по дебиту нефти. Для первого пласта он составлял 6 м<sup>3</sup>/сут, а для второго – 72 м<sup>3</sup>/сут.

Особого внимания требует способ, основанный на использовании для фациального анализа зависимостей между литофизическими свойствами горных пород и кривых электрокаротажа и, в первую очередь, диаграмм ПС. На них наиболее отчётливо отражается смена палеодинамических условий осадконакопления, что позволяет опре-

делять генезис осадков и осуществлять реконструкцию палеогидродинамических обстановок формирования коллекторов.

Размер обломочного материала скелета и содержание глинистого вещества в породах отражают палеогидродинамические уровни водных потоков, а медианный размер зерен сопоставим с относительными амплитудами ПС. Это позволило В. С. Муромцеву и его последователям разработать и успешно применять на практике электрометрические модели фаций. Сущность способа и его эффективность рассмотрим на примере изучения юрских отложений Северо – Юрьевского нефтяного месторождения (З. Сибирь, Сургутский свод).

В рассматриваемых отложениях выделено несколько фаций, относящихся к прибрежно – морскому комплексу (все текстовые и графические сведения по А. В. Ахиярову). Это фации барьерных островов, промоин и головных частей разрывных течений, вдоль береговых баров и прибрежных валов (см. раздел 1 и рис. 1.3). Результаты выделения этих фаций приведены на рис. 4.4. При фа-



альном районировании исполнители опирались на формализованные электрометрические модели фаций, обоснованные В. С. Муромцевым (рис. 4.5), данные оценки диаметра песчаных зёрен и характеристики неоднородности пластов.

Рис. 4.4. Пример фациального районирования песчано-глинистых отложений

1 - границы распространения фаций; 2 – предполагаемые направления движения разрывных течений; 3 – номер скважины (числитель) и

эффективная толщина коллектора (знаменатель); 4 – зона глинизации по данным сейсморазведки и ГИС; фации: БО - барьерных островов; ПРТ - промысловых разрывных течений; ГЧРТ - головных частей разрывных течений; ВБ - вдоль береговых баров

Интегрированный фациальный анализ позволяет прогнозировать размещение добывающих скважин и ожидаемый их дебит (в основном качественно). Например, по результатам анализа рассматриваемой выше площади наиболее перспективной для добычи признана фация барьерных островов, так как для пластов песчаников характерна высокая степень однородности, диаметр зёрен около 0,2 мм. Практика добычи показала, что из коллекторов, отнесённых к этой фации, получены самые продуктивные притоки нефти (около 75 м<sup>3</sup>/сут). Высокой неоднородностью, а также песчано-алевритовым характером зёрен ( $d_m \approx 0,05$  мм) отличались песчаные коллекторы


Формализованные электрометрические модели фации	Фация	№ скв.
	Барьерных островов	7 9 11
	Головных частей разрывных течений	6 8 14
	Промоины разрывных течений	5 10
	Вдольбереговых баров и прибрежных валов (регрессивных)	4 13
	То же, в условиях резкой смены регрессивного цикла на трансгрессивный	2
	Головных частей разрывных течений	5 11
	Вдольбереговых баров и прибрежных валов (трансгрессивных)	13 14
		4

Рис. 4.5. Морфология аномалий ПС, характерных для типовых фаций прибрежно - морских отложений

вдольбереговых баров и головных частей разрывных течений. Дебит скважин из пластов этой фации составил 5 – 10 м<sup>3</sup>/сут. Минимальной продуктивностью отмечены коллекторы фаций промоин разрывных течений и резкой смены регрессивного цикла на трансгрессивный (на рис. 4.5 скв 2).

## 5. Изучение непроницаемых неоднородностей продуктивных терригенных коллекторов методом КС

### 5.1 Модели неоднородностей

Для завершения формирования геолого – геофизической модели залежи углеводородов имеется возможность уточнить представление относительно внутренней структуры продуктивных коллекторов. Нередко пласты или даже горизонты песчаных коллекторов содержат геологические неоднородности. К ним относятся непроницаемые карбонатные или глинистые прослои или их локальные линзы, а также участки развития трещиноватости. Упрощенные модели этих неоднородностей в разрезе показаны на рис. 5.1. Обычно подобные объекты отличаются от коллекторов по увеличению (карбонаты) или уменьшению (глинистые и трещиноватые породы) удельного сопротивления (УС). При изучении по данным ГИС УС и других физических свойств разделить протяжённые и локальные неоднородности часто не удаётся и выводы об их размерах делаются лишь по результатам корреляции геологических колонок скважин.

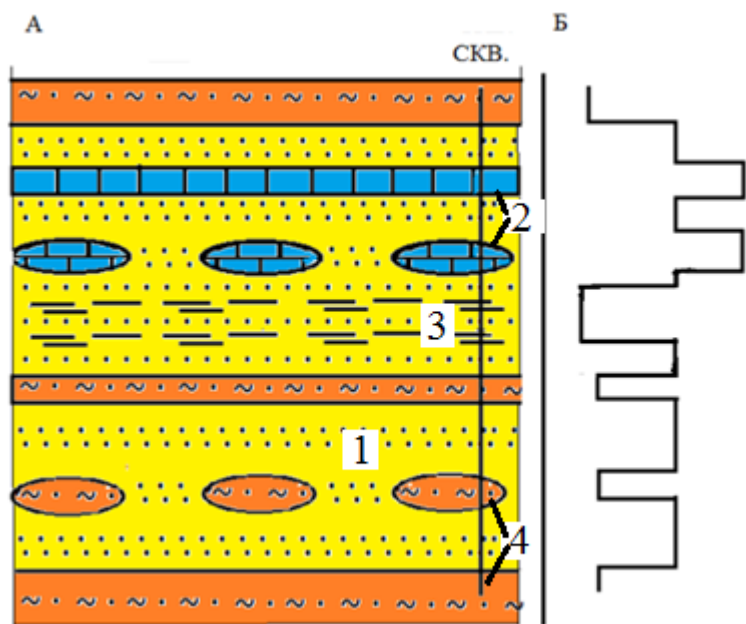


Рис. 5.1. Геоэлектрическая модель разреза с песчаным продуктивным коллектором, содержащим неоднородности, отличающиеся по удельному сопротивлению от вмещающей среды

А – разрез; Б – график УС по условной скважине

1 – песчаный коллектор; 2 – карбонаты; 3 – трещиноватость; 4 – глинистые породы

Литология неоднородностей и их УС обычно легко определяются по показаниям комплекса методов ГИС, а вот данные о форме и размерах в пространстве этих неоднородностей получить оказывается достаточно сложно. Вместе с тем при составлении геолого - геофизических моделей для подсчёта запасов, гидродинамического проектирования, планирования разработки нефтегазовых залежей и других целей получить представление о структуре неоднородных коллекторов весьма важно. Протяженные слои непроницаемых пород даже при их малой мощности изолируют разделяемые ими части пластов – коллекторов, что усложняет гидродинамическую обста-

новку, и они должны быть исключены при определении эффективной мощности коллекторов и учтены при гидродинамическом моделировании. Ограниченность неоднородностей является благоприятным признаком в коллекторе, так как не уменьшает его фильтрационно – ёмкостные характеристики и в меньшей степени усложняет структуру коллектора.

## 5.2 Теоретические предпосылки изучения маломощных неоднородностей

Наиболее благоприятные предпосылки для изучения неоднородностей имеют исследования с потенциал – зондом (ПЗ), условно АМ, метода КС, на показания которого влияют как электрические свойства, так и геометрия объекта.

Начнём со случая, когда мощность  $h$  пересекаемой скважиной неоднородности меньше АМ. Для оценки влияния размеров неоднородности на показания зонда воспользуемся моделью предельно тонкого диска - изолятора радиуса  $R$ . С целью формирования расчётных формул используем решение, полученное в смешанной (декартовой и эллиптической) системе координат [11]. Связь между этими системами вытекает из уравнения  $x^2/R^2(\lambda^2+1) + z^2/R^2\lambda^2=1$  (рис. 5.2). Будем полагать, что УС вмещающей среды  $\rho_0$  равно 1.

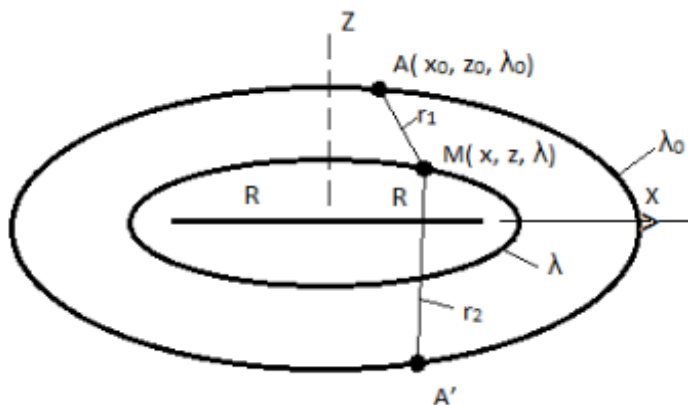


Рис. 5.2. Схема, поясняющая условия расчета  $\rho_k$  при заданных положениях точечного источника тока (А) и точки наблюдения (М) в декартовой и эллиптической системах координат в присутствии тонкого диска радиуса  $R$

При заданных положениях точечного токового источника  $A(x_0, z_0, \lambda_0)$  и точки наблюдения  $M(x, z, \lambda)$ , (для упрощения  $y = y_0 = 0$ ) выражение для кажущегося сопротивления по условной скважине, нормально пересекающей диск – изолятор, имеет вид:

$$\rho_k = 1 + r_1/\pi \left[ r^+ \arctan \frac{r_2 - r_1}{2R\lambda_0\lambda} + r^- \arctan \frac{r_2 + r_1}{2R\lambda_0\lambda} \right], \quad (5.1)$$

где  $r^\pm = \frac{1}{r_2} \pm \frac{1}{r_1}$ ,  $r_1 = [(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}$ ,  $r_2 = [(x-x_0)^2 + (z+z_0)^2]^{1/2}$ .

Для модели диска – проводника при тех же элементах схемы (рис. 5.2)

$$\rho_K = 1 + r_1 / \pi \left\{ 2/R \operatorname{arccot} \lambda_0 \operatorname{arccot} \lambda - \left[ r^+ \operatorname{arc} \tan \frac{r_1 + r_2}{2R \lambda_0 \lambda} + r^- \operatorname{arc} \tan \frac{r_2 - r_1}{2R \lambda_0 \lambda} \right] \right\}. \quad (5.2)$$

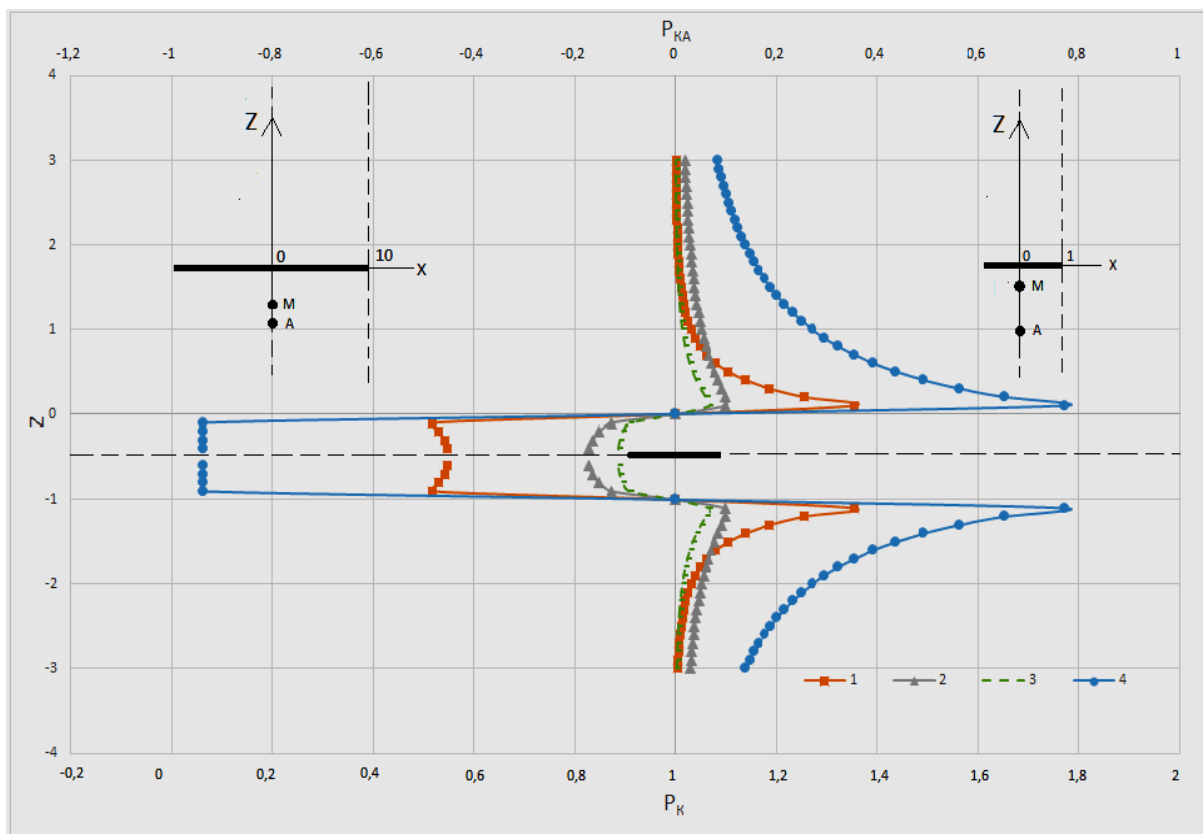


Рис. 5.3. Теоретические кривые  $\rho_K$  для потенциал – зонда АМ при различных относительных размерах тонкого диска – изолятора и положения условной скважины

1 –  $x=0$ ,  $R=1$ ; 2 –  $x=10$ ,  $R=10$ ; 3 –  $x=1$ ,  $R=1$ ; 4 –  $x=0$ ,  $R=10$

Из теории метода КС [6] известно, что для пласта – изолятора предельные аномальные значения  $\rho_K$  для ПЗ равны 0 и 2. На рис. 5.3 приводится серия кривых  $\rho_K$  (а также аномальной составляющей  $\rho_{KA}$ ), рассчитанных для диска – изолятора ограниченного радиуса, по которым можно судить о влиянии на амплитуду аномалий величины  $R$ . Все линейные размеры даны в долях длины зонда АМ=1

Например, для  $R=10$  при  $x=0$  (трасса наблюдений проходит через центр диска)  $\rho_k^{\max}=1,8$ , а  $\rho_k^{\min}=0,05$ . Заметнее отличия аномальных значений  $\rho_k$  от модели бесконечного пласта при прохождении трассы наблюдений через край такого диска:  $\rho_k^{\max}=1,1$  (аномалия меньше в 10 раз) и  $\rho_k^{\min}=0,83$  (аномалия меньше в 6 раз). В случае же малых размеров диска ( $R=1$ ) аномальные значения ещё меньше (см. рис. 5.3). Следовательно, уменьшение размеров модели неоднородности, а также близость скважины к краю диска вызывает заметное ослабление аномалий  $\rho_k$  относительно ожидаемых значений для бесконечного тонкого пласта – изолятора.

Основываясь на квазиподобии аномалий от объектов различной контрастности УС, можно полагать, что для тонкой неоднородности с высоким но конечным УС влияние конечных размеров объекта повлияет на аномальную составляющую  $\rho_k$  в такой же пропорции, как и в случае идеального изолятора. Например, при прохождении трассы наблюдений через край большого тонкого диска с УС равным 5, вместо  $\rho_k^{\max}=1,5$  получим  $\rho_k^{\max}\approx 1,05$ , а вместо  $\rho_k^{\min}=0,35$  получим  $\rho_k^{\min}\approx 0,9$ .

Реальные электрические свойства пересечений высокоомных неоднородностей могут быть охарактеризованы по данным микрозондов или малого градиент – зонда (ГЗ) одинаковой длины с ПЗ.

При изучении маломощных неоднородностей, представленных непроницаемыми глинистыми породами с пониженным УС, полезны будут результаты математического моделирования с тонким круглым диском – проводником. Используя выражение (5.2), рассчитаны и представлены на рисунке 5.4 кривые КС для нескольких случаев пересечения диска – проводника.

Видно, что в пределах в целом отрицательной аномалии от проводника можно выделить три экстремума: с минимальными значениями  $\rho_k^{\min}$  по обе стороны от пересеченного диска и положительный экстремум  $\rho_k^{\max}$  на самом диске. Наличие локального экстремума не характерно для протяженной неоднородности и является признаком ограниченности объекта.

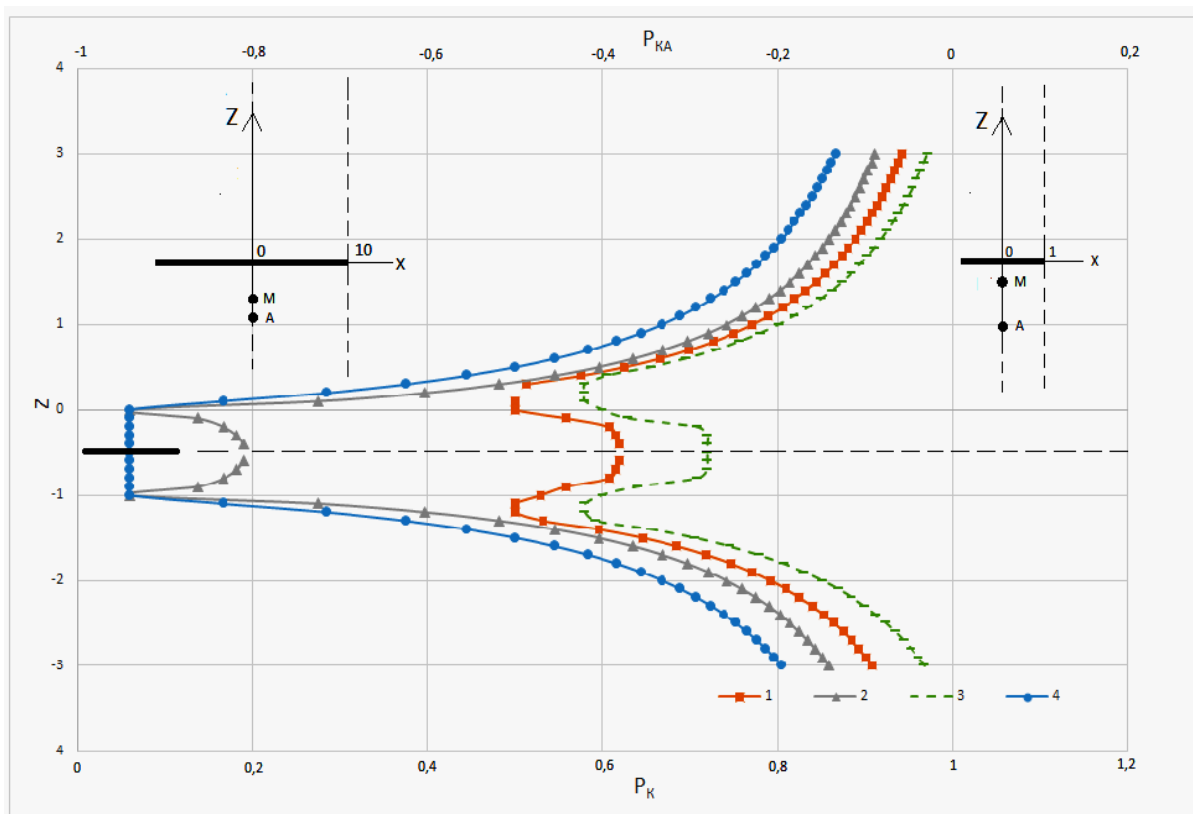


Рис. 5.4. Теоретические кривые  $\rho_K$  для потенциал – зонда АМ при различных относительных размерах тонкого диска – проводника  
 1 –  $x=0, R=1$ ; 2 –  $x=10, R=10$ ; 3 –  $x=1, R=1$ ; 4 –  $x=0, R=10$

Также как для диска – изолятора, ограниченность размеров проводника проявляется в ослаблении аномального эффекта от него. О степени этого ослабления можно судить по приводимым на рисунке 5.4 кривым  $\rho_K$ . Заметим, что при  $R=\infty$  на уровне диска, разделяющего электроды АМ  $\rho_K=0$ .

Следовательно, слабая аномалия  $\rho_K$  для ПЗ на изучаемом прослое – проводнике свидетельствует о его весьма ограниченных размерах по латерали.

Полезно знать признаки проявления аномальности на кривых  $\rho_K$  ПЗ при конечных значениях толщины  $h$  и УС относительно тонкого протяженного прослая. Ориентироваться проще всего по точкам с экстремальными значениям  $\rho_K$ , выраженным в долях УС ( $\rho_0$ ) вмещающей среды (коллектора). Эти характерные точки показаны на образцах типичных аномальных кривых  $\rho_K$  для маломощного прослая (рис. 5.5).

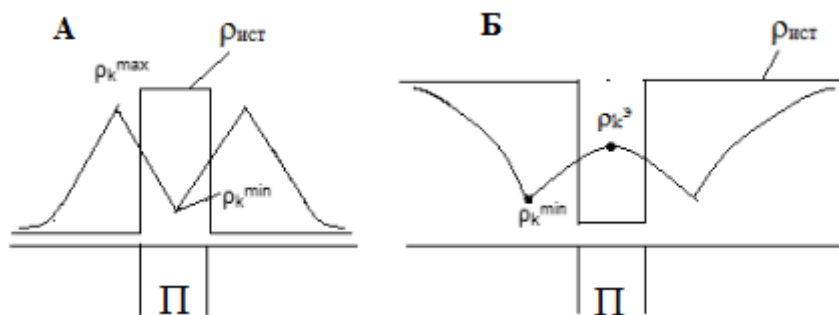


Рис. 5.5. Пример графиков  $\rho_k$  (потенциал – зонд АМ) и истинного УС ( $\rho^{\text{ист}}$ ) для среды с тонким прослоем (Π) относительно повышенного и пониженного УС при его мощности  $h=0,5AM$

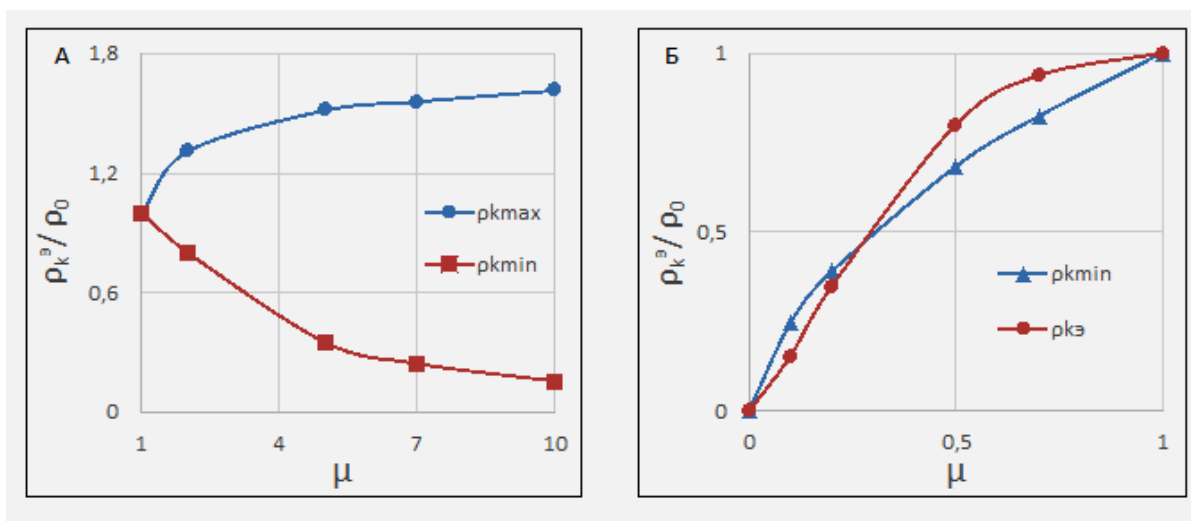


Рис. 5.6. Зависимости относительных значений УС ПЗ в точках экстремумов ( $\rho_k^3 / \rho_0$ ) от параметра  $\mu = \rho^{\text{ист}} / \rho_0$  для маломощного протяженного прослоя при  $h=0,5AM$

Для случая  $h=0,5AM$  рассчитаны зависимости экстремальных значений  $\rho_k$  от контрастности объекта, то есть от параметра  $\mu = \rho^{\text{ист}} / \rho_0$ . По ним, как для высокоомного (А), так и низкоомного (Б) объектов (рис. 5.6), можно оценить ожидаемое экстремальное значение кривых КС при неограниченных размерах неоднородности.

Очевидно на практике, при анализе аномальных участков диаграмм в случае соответствия значений  $\rho_k^3 / \rho_0$  тем величинам, которые могут быть определены по теоретическим зависимостям рис. 5.6, обоснованно допустить вывод о большой протяженности неоднородности в коллекторе.

### 5.3 Обоснование методики оценки размеров неоднородностей

Перейдем к рассмотрению случая, когда мощность неоднородности превышает длину стандартного ПЗ, например, 0,5 м. Для объекта – идеального проводника о его размерах можно судить по площади поверхности  $S$ .

Для тела в виде круглого цилиндра мощностью  $h$  от поверхности  $S$  легко перейти к радиусу цилиндра  $R$ , по которому можно судить о протяженности объекта. Для идеального проводника  $S$  определяется через приведенный к току потенциал  $U^*$  заряженного тела по известной формуле [12 и др.]:

$$S = (\rho_0 / U^*)^2 / 4\pi. \quad (5.3)$$

Для тел, у которых УС больше или меньше  $\rho_0$  выполняется принцип квазиподобия аномальных составляющих электрического потенциала  $U_{ат}$  при одинаковых геометрических параметрах сравниваемых объектов. На теоретических моделях [13] доказано, что коэффициент подобия  $m = U^*_a / U_a$  позволяет привести потенциал  $U_T$  заряженного тела конечной электропроводности (при определении аномальной составляющей относительно нормального потенциала  $U_0$ :  $U_{ат} = U_T - U_0$ , к условиям идеального проводника:

$$U^* = U_0 + mU_{ат}. \quad (5.4)$$

После этого  $U^*$  используется для определения  $S$  и  $R$  тела.

Приведенные к току значения  $U_T$ ,  $U_0$ ,  $U_{ат}$  могут быть установлены по показаниям ПЗ. Для определения коэффициента подобия  $m$  необходимо располагать данными о  $\Delta U_{ат}^{\Gamma 3}$  которые могут быть получены с помощью ГЗ одного размера с ПЗ:  $\Delta U_{ат}^{\Gamma 3} = \Delta U_T^{\Gamma 3} - \Delta U_0^{\Gamma 3}$ . Так как для приведения показаний ГЗ к условиям идеального проводника необходимо выполнение условия:  $\Delta U_0^{\Gamma 3} + m\Delta U_a^{\Gamma 3} = 0$ , то искомый коэффициент  $m = -\Delta U_0^{\Gamma 3} / \Delta U_a^{\Gamma 3}$ . Для тел с пониженным УС  $m > 0$ , а для относительно высокоомных тел -  $m < 0$ .

Применительно к технологии каротажа методом КС для определения размеров геологического тела во вмещающей среде (в нашем случае непроницаемого прослоя в коллекторе) необходимо

иметь диаграммы  $\rho_k$  ПЗ и ГЗ приблизительно одинаковой длины, но не превышающей мощность пересечения тела скважиной. Формально процедура обработки диаграмм КС, упомянутых зондов, состоит в определении значений  $\rho_{кт}^Г$  и  $\rho_{кт}^{ПЗ}$  в изучаемом геологическом теле в точках записи (О) при одинаковом положении токового электрода. Например, если для ПЗ значения определяются в середине пересечения, то на диаграмме ГЗ оно берётся со сдвигом на половину длины зонда в сторону от токового электрода. Значения  $\rho_0$  в большинстве случаев по показаниям ПЗ и ГЗ близки и лишь при малых размерах коллектора наблюдаются различия. Поэтому лучше ориентироваться на ГЗ.

По показаниям ПЗ определяется характеристика вмещающей среды  $\rho_0$ , которая соответствует свойствам коллектора, значение  $\rho_{кт}^{ПЗ}$  при положении зонда внутри изучаемого тела и его аномальная составляющая  $\rho_{ка}^{ПЗ} = \rho_{кт}^{ПЗ} - \rho_0$ . По показаниям ГЗ в теле вычисляют аномальную составляющую  $\rho_{ка}^{ГЗ} = \rho_{кт}^{ГЗ} - \rho_0$  и коэффициент подобия  $m = -\rho_0 / \rho_{ка}^{ГЗ}$ . Затем находят искомое значение  $U^*$ :

$$U^* = [\rho_0 + m \rho_{ка}^{ПЗ}] / k_{ПЗ}. \quad (5.5)$$

5)

Далее применяется формула (5.3), после чего можно оценить эффективный радиус тела  $R$ , используя уравнение  $S = 2\pi R^2 + 2\pi R h$ .

Выражение для  $S$  можно представить в виде

$$S = 0,08 k_{ПЗ}^2 [1 / (1 - \rho_{ка}^{ПЗ} / \rho_{ка}^{ГЗ})]^2. \quad (5.6)$$

Даже без вычислений можно определить, что если  $\rho_{ка}^{ПЗ} \approx \rho_{ка}^{ГЗ}$ , то изучаемое геологическое тело (прослой или другой объект) во вмещающей его среде имеет весьма большие размеры ( $R \rightarrow \infty$ ). И, напротив, заметное превышение по модулю  $\rho_{ка}^{ГЗ}$  относительно  $\rho_{ка}^{ПЗ}$  свидетельствует об ограниченности размера изучаемого объекта.

При практических работах, если ориентироваться на полуметровый ПЗ, то в качестве ГЗ можно применять стандартный зонд БКЗ с длиной АО= 0,45 м. Предполагается, что используемые при вычислениях значения  $\rho_k$  для ПЗ и ГЗ получены при одном и том же положении источника тока в изучаемом прослое. Как понятно из упомянутых теоретических положений, способ пригоден для оценки размеров неоднородностей как повышенного, так и пониженного УС.

Таким образом, располагая диаграммами  $\rho_k$  ПЗ и ГЗ одинаковой длины, при сравнительно маломощных неоднородностях (например, меньше 0,5 м) возможно выделить те из них, которые фиксируются потенциал – зондом относительно слабыми аномалиями, и отнести их к классу линзовидных тел весьма ограниченных размеров. Другие же неоднородности, аномалии на которых при известной их контрастности по УС, имеют признаки, характерные для пластов безграничных размеров, следует отнести к классу протяженных прослоев. Можно считать, что их радиус не менее чем на порядок больше длины ПЗ.

#### **5.4 Практические примеры**

В качестве практических примеров служат результаты некоторых измерений  $\rho_k$  в пределах неоднородных коллекторов по скважинам Спорышевского нефтяного месторождения в ЯНАО Тюменской области. Основное внимание уделим диаграммам ПЗ (АМ=05 м) и ГЗ (АО=0,45 м).

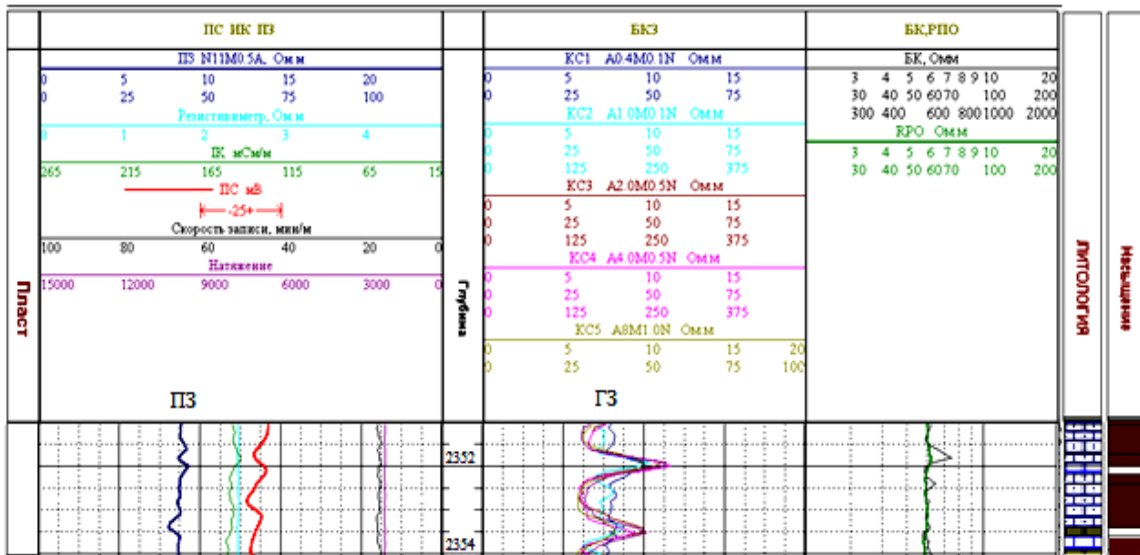


Рис. 5.7. Пример проявления ограниченности размеров маломощных включений карбонатов в продуктивном песчаном коллекторе по показаниям ПЗ и ГЗ

На рис. 5.7 приведены диаграммы ПЗ и ГЗ для пласта продуктивного коллектора с двумя пересечениями относительно высокоомных карбонатов малой мощности. Они чётко фиксируются повышением  $\rho_k$  по ГЗ, но на диаграмме ПЗ имеют отрицательные аномалии и заметно меньшие по величине, чем можно было ожидать в случае существенной протяжённости рассматриваемых неоднородностей (см. рис.5. 6 А). Следовательно, это линзовидные тела ограниченной длины, выклинивающиеся в коллекторе.

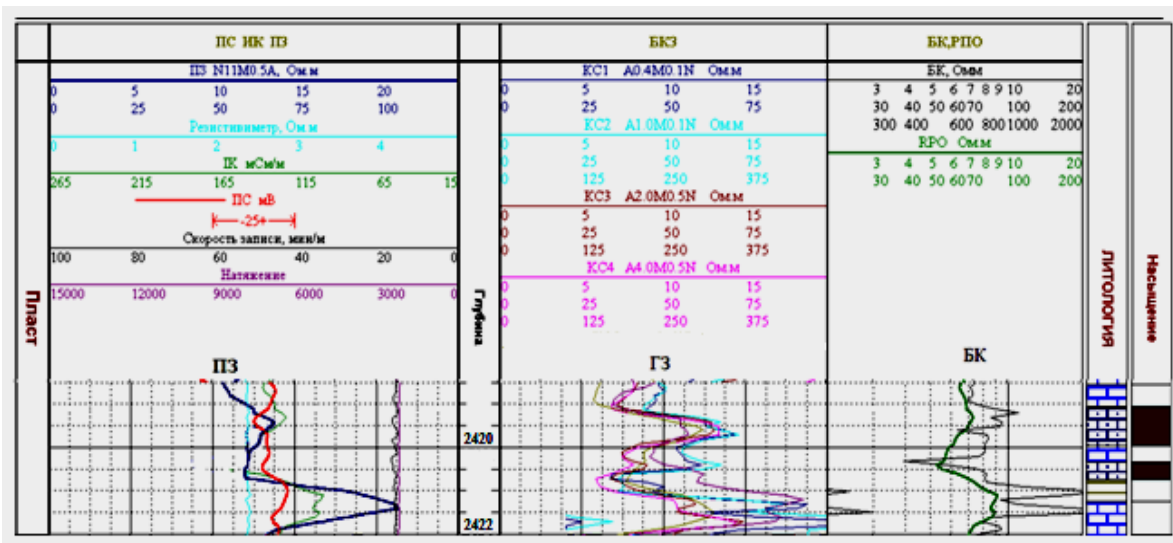


Рис. 5.8. Пример проявления ограниченного по размерам прослоя глинистых пород в продуктивном песчаном коллекторе по показаниям ПЗ, ГЗ и БК

Другой пример проявления ограниченности по размерам низкоомного прослоя глинистых пород на диаграммах КС иллюстрирует рис. 5.8. Так, если глинистые породы внутри нефтенасыщенного песчаного коллектора (2420 -2420,4 м), продуктивность которого уменьшается с глубиной, фиксируются четкой отрицательной аномалией на диаграммах ГЗ и БК, то по показаниям ПЗ этот объект практически не выделяется. Это свидетельствует о близости скважины к его выклинке.

Для демонстрации примеров оценки размеров неоднородностей, мощность пересечений которых превышают длину ПЗ, обратимся к рис. 5.9. На приведённых диаграммах ПЗ, ГЗ и других методов в водонасыщенном коллекторе фиксируются прослой глинистых пород пониженного УС (в верхней части рассматриваемого участка разреза) и карбонатные породы относительно более высокого УС. Для вмещающей среды – коллектора характерно значение  $\rho_{к0} = 14$  Омм.

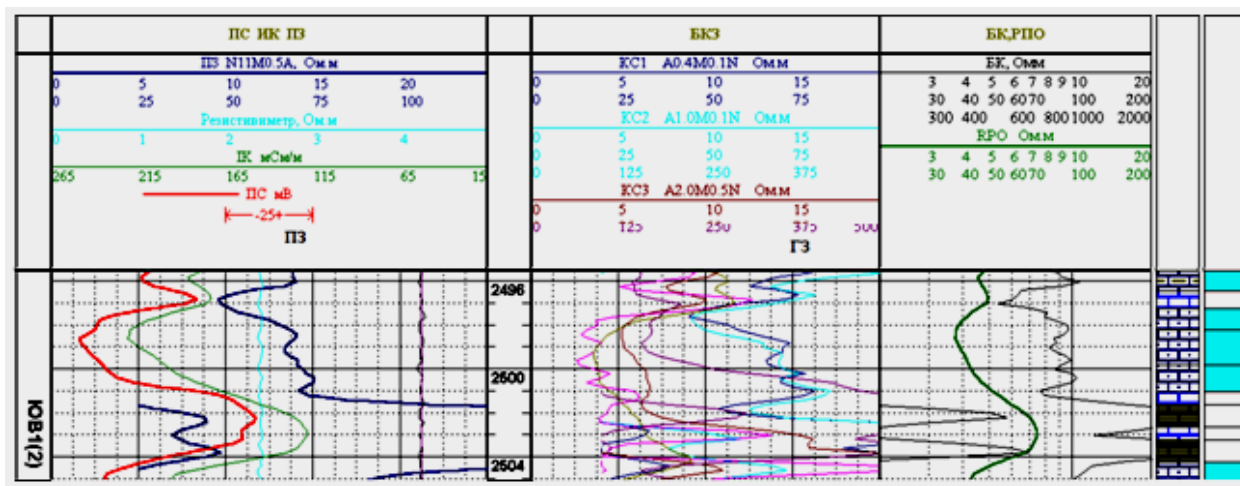


Рис. 5.9. Исходные фрагменты диаграмм КС, используемые для определения эффективного радиуса прослоев глинистых и карбонатных пород в коллекторе

Определяя аномальные значения на глинистых породах  $\rho_{ка}^{ПЗ} = -3,2$  Омм, а  $\rho_{ка}^{ГЗ} = -4,6$  Омм и подставляя их в выражение (5.6), получим

$S=5,4 \text{ м}^2$ . При толщине глинистого прослоя 1 м его эффективный радиус приблизительно равен 0,6 м. Практически эта величина соответствует радиусу высокоомной зоны проникновения, в пределах которой глинистый прослой является аномальным объектом ограниченных размеров. Пример приведён исключительно для демонстрации техники вычислений эффективного радиуса аномального тела. В случае продуктивного коллектора полученный результат свидетельствовал бы о выклинке глинистых пород в коллекторе

На карбонатных породах значения  $\rho_{ка}$  для ПЗ и ГЗ практически одинаковы. Поэтому без вычислений можно полагать, что прослой в коллекторе известняков имеет условно  $R = \infty$ , то – есть это тело имеет значительное распространение в разрезе.

В заключение можно отметить, что рассмотренные методики дают возможность лишь приблизительно оценить размеры непроницаемых неоднородностей в коллекторе. И, тем не менее, такие оценки представляют несомненный интерес, и их проведение во многих случаях снимает неопределённость относительно структуры разведываемых толщ коллекторов, что особенно важно для их продуктивной части.

Необходимо также подчеркнуть целесообразность изучения методами КС неоднородных коллекторов в более крупном масштабе, чем это часто принято на практике, что позволит более точно оценивать степень значительности неоднородностей.

## **6. Определение характера насыщения маломощных пластов – коллекторов**

### **6.1 Предпосылки решения задачи**

При малой (меньше 2 м) мощности перспективных на углеводороды пластов стандартные методы (ИК, ВИКИЗ), требующие применения относительно больших зондов, часто не позволяют уверенно определить характер насыщения изучаемых коллекторов.

Предпосылкой для определения решения задачи является различие по размерам относительно высокоомных зон в коллекторах

вблизи скважины, вскрывшей пласт. В случае водонасыщенного коллектора высокоомная часть пласта соответствует только зоне проникновения (ЗП) в пласт пресного бурового раствора, диаметр которой  $D_{зп}$  не превышает 1-4 м, а её удельное сопротивление равно  $\rho_{зп}$ . За пределами ЗП коллектор насыщен минерализованной водой и его удельное сопротивление  $\rho_{пв}$  значительно ниже чем в зоне проникновения. У нефтегазонасыщенного коллектора ЗП (с  $\rho_{зп}$ ) и, расположенных за ней неизменённых пород с углеводородами (с  $\rho_{пн}$ ), электропроводности близки. Поэтому диаметр высокоомного тела  $D_{нг}$  в этом случае значительно превышает типичные для зоны проникновения размеры. Модели для этих двух случаев показаны на рис. 6.1.

Как показано в разделе 5, можно по показаниям одномерных потенциал- и градиент- зондов небольшой длины определить размеры геологического тела вскрытого скважиной при условии его отличия по проводимости от вмещающих горных пород. В рассматриваемой модели предполагается, что вмещающие коллектор глинистые отложения близки по электропроводности водонасыщенной части коллектора.

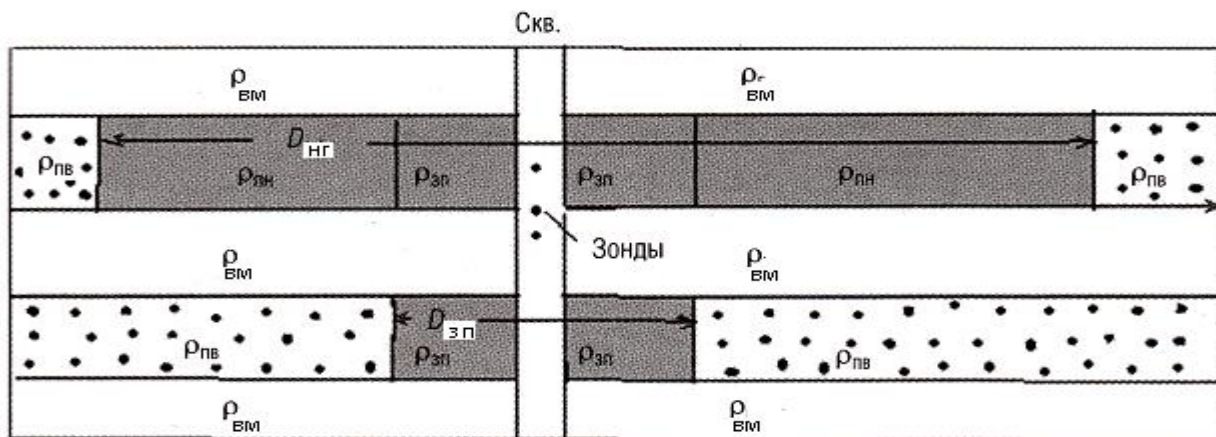
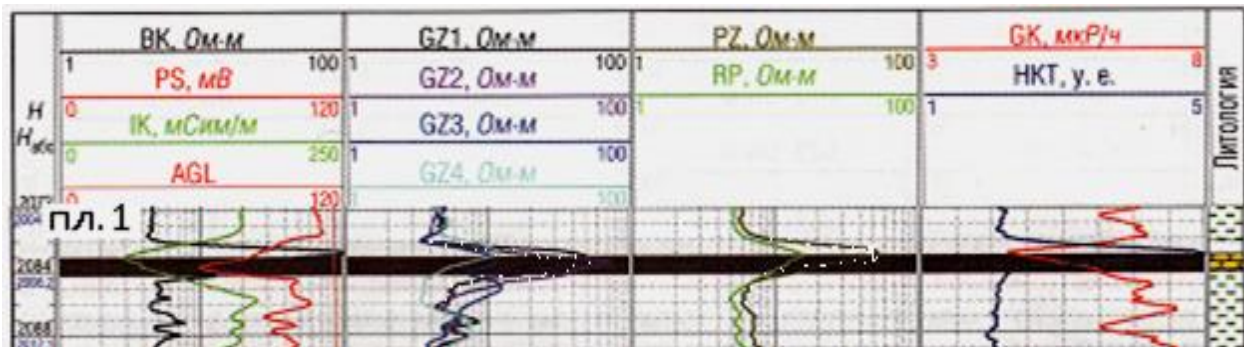


Рис.6.1. Геоэлектрическая модель разреза, содержащего нефтегазонасыщенный и водонасыщенный пласты-коллекторы среди вмещающих пород и отличающиеся размерами высокоомных зон, связанных с наличием зоны проникновения с  $\rho_{зп}$  (только у водонасыщенного коллектора) и зоной нефтегазонасыщения с  $\rho_{пн} \approx \rho_{зп}$

Следовательно, выполняя измерения кажущегося сопротивления одно-размерными потенциал - и градиент – зондами и вычисляя аномальные составляющие можно, как показано в разделе 5, определить по (5.6) значение площади  $S$  высокоомной зоны в коллекторе. Затем вычисляются радиус  $R$  или диаметр  $D$  этой зоны ( $D \approx \sqrt{2S/\pi}$ ), по величине которой и делается вывод о характере насыщения коллектора. Обычно диаметр высокоомной зоны проникновения водонасыщенного пласта – коллектора не превышает 4 м, тогда как у нефтегазонасыщенного пласта такой диаметр высокоомного тела значительно больше.

## 6.2 Примеры из практики

В качестве примера применения рассмотренной методики обратимся к опубликованным данным по изучению коллекторов Самотлорского месторождения [9]. Характер насыщения здесь определялся по измерениям большого комплекса методов ГИС, среди которых были диаграммы полуметрового потенциал-зонда (PZ) и градиент-зонда размером 0,45 м (GZ1). Фрагменты разрезов с пластами-коллекторами (песчаники среди глинистых пород) и диаграммы комплекса ГИС приведены на рис.6.2.



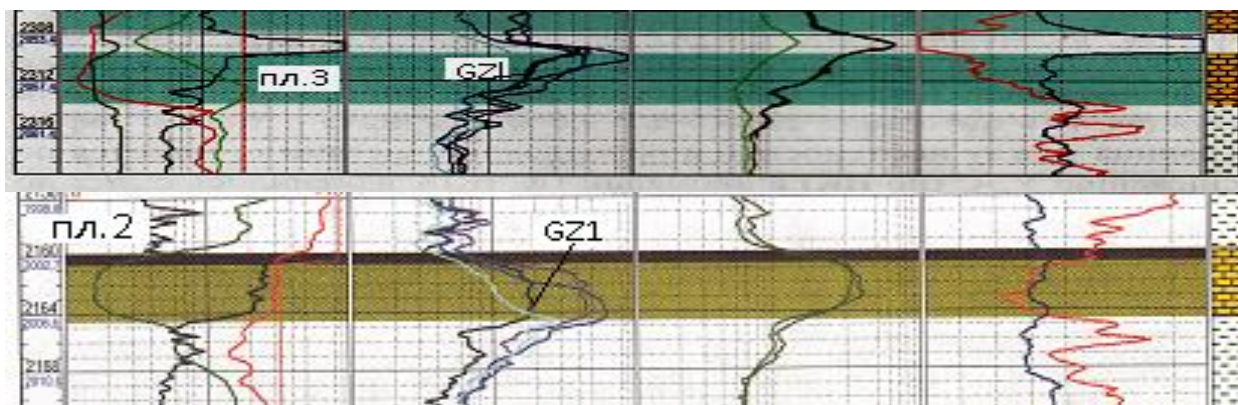


Рис.6.2. Диаграммы методов ГИС на пластах с различным характером насыщения коллекторов, в том числе диаграммы GZ1 и PZ, которые использованы для применения рассматриваемой методики

Рассмотрим три примера. Для каждого из них в средней части пласта - коллектора по диаграммам зондов определены исходные характеристики удельного сопротивления внутри коллектора и в контактирующих с ним вмещающих породах. При существенном различии свойств перекрывающей и подстилающей коллектор толщ вычислены граничные значения удельного сопротивления вмещающей среды, которое использовалось для определения нормального поля  $\rho_{к0}$ . Проведены соответствующие вычисления по алгоритмам приведённых выше с оценкой размеров высокоомной зоны исследуемых пластов. Исходные и результативные данные обобщены в таблице 6.1. Помимо величины  $S$  дана оценка диаметра высокоомной зоны  $D$ . Опыт показывает, что для нефтегазонасыщенных пластов большого размера, поскольку реальные условия не строго соответствуют теоретическим моделям и точность измерений не идеальна, возможны случаи, когда знаменатель в (5.6) не только равен нулю, но даже может быть отрицательным. Физически это не имеет смысла, но, тем не менее, данный факт является признаком больших размеров изучаемого тела.

Таблица 6.1

Результаты обработки диаграмм КС зондов с целью определения характера насыщения пластов-коллекторов

Зонды пласты		GZ1			PZ		Результаты			
№ пл.	h, м	$\rho_{к0}$ Ом м	$\rho_{кт}$ Ом м	m	$\rho_{к0}$ Ом м	$\rho_{кт}$ Ом м	$U^0$ Ом	S м <sup>2</sup>	D м	Насыщение
1	1,8	5,5	50	-0,12	6	55	0,015	22600	85	нефть
2	4	3 и 7 гр 4,2	20	-0,26	5 и 10 гр 6,6	31	0,04	4300	37	Нефть + пресн. вода
3	4,2	40 и 7 гр 12	20	-1,5	70 и 10	23	1,47	2,6	1,3	Вода мине- рализ.

Первый из рассмотренных пластов по комплексу методов ГИС классифицирован как нефтеносный. К аналогичному выводу приходим после оценки диаметра высокоомной зоны исследуемого коллектора, которая составляет 85 м.

Пласт №2 интересен тем, что помимо нефти большая его часть насыщена пресной водой из нагнетательной скважины. Вода относительно высокоомна и поэтому по свойствам пласт выделяется как единое целое. В связи с этим диаметр высокоомной зоны хотя и меньше, чем у пласта №1, но достаточно большой-37м. Это исключает вариант насыщения минерализованной пластовой водой.

Пласт №3 имеет существенно различные вмещающие породы в кровле и подошве. Перекрывающие коллектор плотные известняки имеют удельное сопротивление превышающее пластовое. Тем не менее уверенно определяется малый диаметр высокоомной зоны коллектора (1,3м) типичный для ЗП. Этот факт позволяет подтвердить установленное по комплексу ГИС водонасыщение коллектора пластовой минерализованной водой.

## 7. Подсчёт запасов

### 7.1 Построение карт структурных и подсчётных параметров

В последнее время в связи с внедрением компьютерных технологий, процедура геометризации залежи существенно упростилась. В практике подсчёта запасов и проектирования разработки месторождений стали широко использоваться карты различных подсчётных параметров.

Перечень основных карт моделируемой залежи включает в себя набор следующих карт:

- структурные карты по кровле и подошве залежи;
- эффективных толщин коллектора;
- значений пористости и проницаемости;
- характеристик неоднородности пласта;
- нефтегазонасыщенности;
- линейных запасов углеводородов по пласту;

В отдельных случаях этот набор может быть дополнен построением кубов отдельных параметров (литологических, фильтрационно-ёмкостных и др.), позволяющих представить распределение демонстрируемых параметров в объёме.

Построение требуемого набора карт осуществляется с применением вычислительной техники и специального программного обеспечения, но может быть реализовано вручную. Распространённым способом построения карт является метод непересекающихся треугольников ячеек. При этом площадь наблюдений разбивается на треугольники, в вершинах которых имеются значения картируемого параметра. Исходными являются наблюдённые данные, соответствующие устьям вертикальных скважин (пример на рис. 3.5). Компьютерные технологии позволяют получить более мелкую сеть треугольников, в узлах которых значения параметра получаются с помощью линейной интерполяции. В результате площадь представляет «лоскутное одеяло» из совокупности треугольников. Размеры треугольников должны быть по возможности одинаковыми. Каждый из треугольников имеет 3 значения картируемого параметра, что позволяет охарактеризовать площадь треугольника средним значением, которое записывается в центр треугольника (см. рис.3.5). Эти значе-

ния используются для построения системы изолиний данного параметра.

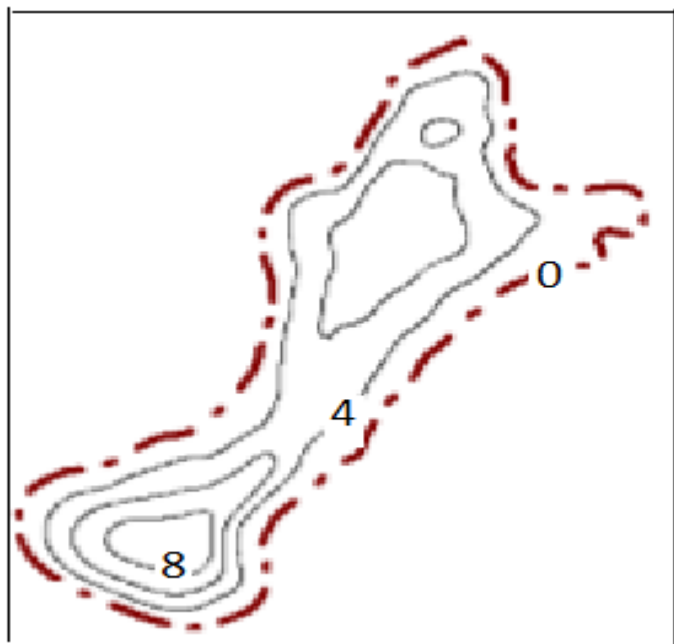


Рис. .1. Пример карты эффективной нефтенасыщенной толщины в м. для нефтяной залежи, используемой для подсчета запасов углеводородов [9]

На рис. 7.1 приводится пример карты эффективной нефтенасыщенной толщины небольшой залежи, положение которой в пределах пласта песчаников показана на структурной карте рис.

2.6. Этот параметр в каждой скважине определяется как толщина продуктивного пласта от подошвы ВНК до кровли. При наличии газовой насыщенности отдельно определяются эффективные газонасыщенные толщины? и строится соответствующая карта.

## 7.2 Подсчёт линейных и объёмных запасов

В результате интерпретации комплекса диаграмм ГИС по каждой скважине с нефтегазонасыщением известны эффективные мощности газонасыщенной  $h_g$  и нефтенасыщенной  $h_n$  части пласта – коллектора. Определены также коэффициенты пористости  $K_{пг}$ , газонасыщенности  $K_g$  и нефтенасыщенности  $K_n$ . Эти данные позволяют вычислить для каждой скважины линейные запасы газа  $q_g$  и нефти  $q_n$ . Они представляют произведение трёх вышеупомянутых параметров. Например, линейные запасы нефти в районе  $i$  - ой скважины

$$q_{ni} = h_{ni} K_{pi} K_{ni}. \quad (7.1)$$

В итоге параметры линейного нефтенасыщения (газонасыщения)  $q$  приписываются устьям соответствующих скважин. Для реализации способа треугольников в центре каждой из  $N$  треугольных ячеек обозначается среднее значение  $q_{срn}$  для  $n$  – ой ячейки из трёх

скважин (см. рис.3.5). По этим данным может быть построена карта линейной нефтенасыщенности.

Для определения запасов углеводородов  $Q$  в залежи необходимо знать площади для каждой треугольной ячейки т.е  $s_n$ . Тогда вычисляя произведение  $q_{срn}s_n$  и их сумму для всех  $N$  ячеек, получим искомую величину  $Q$ :

$$Q = \sum q_{срn} s_n. \quad (7.2)$$

Целесообразно оценить также извлекаемые запасы нефти  $Q_{изв}$  при известном среднем коэффициенте извлечения нефти  $\beta_{извл}$ , который определяется исходя из опыта разработки месторождений подобного типа. Очевидно  $Q_{изв} = Q\beta_{извл}$ . Типичные значения для коэффициента извлечения  $0,6 - 0,7$ .

### 7.3. Оценка погрешности подсчёта запасов

Достоверность определения подсчётных параметров, а следовательно, запасов нефти и газа по данным промысловой геофизики зависит от многих факторов, которые можно объединить в две группы: а) полнота и качество исходной промыслово – геофизической информации; б) оптимальность интерпретации данных измерений, используемых при определении подсчётных параметров.

Комплекс ГИС на всех скважинах изучаемой залежи должен обеспечить получение всей информации для определения эффективной мощности, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщения. Качество диаграмм ГИС должно соответствовать техническим условиям проведения измерений, т. е позволять провести количественную геофизическую и геологическую интерпретацию диаграмм. Например, определение границ коллекторов, мощность непроницаемых прослоек в них должно контролироваться несколькими методами.

Оптимальная интерпретация обеспечивается при выполнении следующих условий: 1) интерпретатор правильно определил тип коллектора в изучаемом геологическом разрезе; 2) выбранная для решения обратной задачи система уравнений, связывающая геофизические параметры и искомые подсчётные параметры, соответствует данному типу коллектора; 3) парные и многомерные петрофизические связи, используемые при индивидуальной интерпретации,

отвечают критериям надёжности и получены на представительном фактическом материале, достаточно полно характеризующем изучаемый объект.

Погрешности определения подсчётных параметров выполняются различными способами и зависят от типа разреза и вида определяемого параметра. Одним из критериев оценки качества результатов измерений является сходимость основного и повторных замеров измеряемой характеристики. Оценка воспроизводимости скважинных измерений получается использованием статистического анализа многократных исследований.

Ограничимся рассмотрением одного из подходов к оценке погрешности определения подсчёта запасов. Так как определение в м эффективной мощности продуктивных коллекторов ( $h_{эф}$ ) может контролироваться несколькими ( $n$ ) методами ГИС, то для каждой из группы скважин можно вычислить его среднее значение  $h_{эф\ ср}$ , которое близко к точному значению. Стандартное или среднеквадратичное отклонение от среднего  $S_h$  при ограниченном комплексе методов вычисляется по формуле

$$S_h = \sqrt{[\sum_0^n (h_{эф\ ср} - h_{эф\ i})^2] / (n - 1)} \quad (7.3)$$

Затем для каждой скважины вычисляется относительная погрешность  $\delta_h$  определения  $h_{эф}$ :  $\delta_h = S_h / h_{эф\ ср}$  и находится среднее значение для выбранной группы скважин.

При определении коэффициента пористости по скважинным измерениям  $K_{п\ скв}$  обычно использует зависимость между физической характеристикой, например плотностью  $\sigma$ , и пористостью. В интервале наиболее типичных значений  $K_{п\ скв}$  по группе скважин, где в тех же пересечениях коллектора имеются определения в лаборатории пористости по керну, последние приводятся к условиям скважины. Обычно на глубине особенно для глинистых коллекторов значения пористости несколько меньше, чем они оказываются при подъёме керна на дневную поверхность. Для среднеглинистых коллекторов ( $\eta_{гл} \approx 0,5$ ) для приведения лабораторных измерений к условиям в скважине на глубине  $H_{км}$  по В. М. Добрынину лабораторные определения пористости необходимо уменьшить на величину  $\Delta K_{п} (\%) = 0,015 H \cdot K_{п\ керна} (\%)$ . Затем с учётом исправленных значений  $K_{п\ керна}$  вычисляют среднеквадратичное отклонение  $S_{K_{п}}$  по  $n$  измерениям

$$S_{Kn} = \sqrt{[\sum_0^n (K_{\text{керна } i} - K_{\text{скв } i})^2] / (n - 1)}. \quad (7.4)$$

Для определения искомой относительной погрешности определения  $\delta_{Kn}$  ориентируются на среднее значение исправленных измерений в выбранном интервале  $K_{\text{п керн}}$ . Вычисляют значение  $\delta_{Kn} = S_{Kn} / K_{\text{п керн ср}}$ , которое и рассматривается как относительная погрешность определения пористости по данным ГИС.

Аналогичным образом вычисляется относительная погрешность определения коэффициента нефтенасыщенности  $\delta_{Kn}$  (газонасыщенности) по данным ГИС. В этом случае нет необходимости исправлять данные измерений на кернах. Результаты вычисления относительных погрешностей трёх подсчётных параметров позволяют вычислить относительную погрешность определения величины объёма запасов  $\delta_Q$ , которая рассматривается как функция. В случае произведения трёх аргументов  $\delta_Q = \delta_h + \delta_{Kn} + \delta_{Kn}$ . Следовательно, вероятное значение искомого объёма  $Q$  объективней представить в виде некоторого интервала:  $Q \pm \Delta Q$ , где  $\Delta Q = \delta_Q Q$ .

## 7.5 Контроль за разработкой резервуаров в эксплуатационный период

В период разработки резервуара в исходную геолого - геофизическую модель этого объекта последовательно вносятся изменения, связанные с извлечением углеводородов. Одна из главных задач геофизических исследований заключается в контроле за изменением положения газо- и водонфтяных контактов в скважинах и в пространстве. Роль сейсморазведки при решении этой задачи рассмотрена в 2.7.

## 8. Заключение

Геолого-геофизические модели строятся на всех стадиях геологоразведочных работ: поисково-оценочной, разведочно-эксплуатационной, эксплуатационной. При этом учитываются особенности этапа работ и требования к соответствующей информации.

Так, если на первом из них подсчёт запасов проводится по категориям  $C_1$  и преимущественно  $C_2$ , то на этапе эксплуатационной разведки данные должны отвечать требованиям категорий В и А. Это достигается сгущением сети скважин и применения детальной корреляции всего фонда пропластков с целью выявления путей фильтрации по проницаемым отложениям для полного вовлечения их в разработку.

Для проектирования и реализации добычи углеводородов создаётся фильтрационная модель месторождения. Цифровая фильтрационная модель представляет объект в виде двухмерной или трёхмерной сети ячеек, каждая из которых характеризуется набором идентификаторов и параметров, как и геологическая модель. Дополнительно приводятся динамические характеристики пластовых свойств и процессов. Это данные о конструкции скважин, дебитах фаз, данные о пластовом и забойном давлении и др.

Помимо наличия дополнительных параметров фильтрационная модель может отличаться от геологической модели большей схематизацией строения, объединением нескольких геологических объектов в единый объект моделирования. Упрощение геометрического построения, осуществляемое в фильтрационной модели, обусловлено необходимостью проводить компьютерные расчёты пластовых процессов и показателей разработки при экономически допустимых затратах машинного времени. Роль промысловой геофизики сводится к обеспечению данных о динамических характеристиках пластов (проницаемость, дебиты-расходы, пластовое и забойное давление и др.), получаемых с применением специальных методик [14, 15 и др.].

В геолого – геофизическую и фильтрационную модели в процессе эксплуатации месторождения вносятся коррективы по результатам ГИС в добывающих скважинах. Эти исследования, объединяемые как контрольные за разработкой нефтяных и газовых месторождений, позволяют получить следующие данные:

- изменение положения ВНК и ГНК в скважинах;
- выделение обводнённых интервалов внутри продуктивных пластов
- текущие карты равного нефтегазосодержания,
- текущий дебит в добывающих скважинах,
- состав флюида в стволах скважин,

- пластовое давление и др.

Технологии геолого – геофизического моделирования непрерывно совершенствуются и имеют специфические особенности на различных объектах.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

## Основная

1. *Жемжурова З. Н., Чекунова В. А., Черноглазов В. Н.* Практикум по геолого – геофизическому моделированию разрабатываемых залежей нефти и газа: Учебн. пособие. М.: ИЦ РГУ нефти и газа, 2012. – 206 с.
2. *Золоева Г. М., Денисов С. Б., Билибин С. И.* Геолого - геофизическое моделирование залежей нефти и газа: Учебн. пособие. – 2 – е изд. доп. и перераб. – М.: МАКС Пресс, 2008. 212 с.
3. *Лобусев А. В.* Геолого – промышленные основы моделирования залежей нефти и газа. Учебник. М: ИЦ РГУ нефти и газа, 2010. – 247 с.

## Дополнительная

4. *Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель С. Р.* Геосолитонная концепция образования месторождений углеводородов //Геофизика, 50 лет «Хантымансийскгеофизике». 2001, С. 50-53.
5. *Бондарев В. И.* Сейсморазведка: Учебник для вузов. Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2007. 690 с.
6. *Воскресенский Ю. Н.* Полевая геофизика: Учебн. для вузов. – М. ООО «Издательский дом Недра». 2010. – 479 с.
7. *Дахнов В. Н.* Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. Учебник для вузов. – М.: Недра.1982. – 448 с.
8. *Ковач А. Ю., Поздеев Ж. А.* Выделение обводнённых коллекторов по данным ГИС в открытом стволе на примере Самолторского месторождения//НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2013. Вып.11 (233).
9. *Методические указания по созданию постоянно действующих геолого – технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений (часть 1. Геологические модели).* – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 164 с.

10. *Перевертайло Т. Г.* Формирование 3D – геологических моделей месторождений нефти и газа в среде программного комплекса Petrel. Томск: Изд. – во Томского политехнического университета, 2010. – 93 с.
11. *Сапожников В. М.* Диск, полуплоскость и плоскость с вырезом, имеющие предельную или конечную электропроводность, в поле точечного источника тока // Известия Уральской государственной горно – геологической академии. Сер. : Геология и геофизика. – 1996. Вып. 5. С. 111 – 115
12. *Сапожников В. М.* О количественной связи между поверхностью и сопротивлением заземления // Вопросы разведочной геофизики: Тр. Свердловского горного ин – та. 1968. Вып. 54. С. 187 – 189.
13. *Сапожников В. М., Мишедченко И. В.* О степени подобия аномальных электрических полей, возбуждаемых неоднородным полем, и практика интерпретации аномалий// Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 29 – й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. Екатеринбург: УГГ, 2002. С. 255 – 259.
14. *Сапожников В. М.* Интерпретация данных геофизических исследований скважин :Учебн. пособие, Екатеринбург: Изд. – во УГГУ, 2014. – 153 с.
15. *Сковородников И. Г.* Геофизические исследования скважин: Учебн. пособие, Екатеринбург: Институт испытаний, 2009. – 421 с.

# Оглавление

Введе- ние.....	3
1. Углеводородное сырьё и геологические структуры продуктивных горизонтов и пластов - коллекторов .....	4
1.1. Нефть и природные горючие газы.....	4
1.2 Концепции образования месторождений нефти и газа.....	4
1.3. Формации и фации, благоприятные для нефтегазообразования и нефтегазонакопления.....	6
1.4. Природные резервуары, ловушки и залежи нефти и газа.....	13
1.5. Исходные данные и этапы построения геолого-геофизической модели нефтегазовой залежи.....	15
2. Использование сейсморазведки при изучении нефтегазовых резервуаров	
2.1. Предпосылки применения сейсмических исследований при геолого-геофизическом моделировании.....	17
2.2. Интерпретация сейсмических данных.....	19
2.3. Корреляция сейсмических горизонтов, выявление тектонических нарушений.....	22
3. Использование данных ГИС при формировании геолого-геофизической модели залежи нефти и газа.....	24
3.1. Данные ГИС по отдельным скважинам.....	24
3.2. Подготовка данных ГИС для интерпретации сейсморазведки.....	28
3.3 Корреляция разрезов скважин .....	29
4. Палеотектонический, седиментационный и фациальный анализ.....	36
4.1. Палеотектонический анализ.....	36
4.2. Седиментационный анализ.....	38
4.3 Фациальный анализ.....	40
5. Изучение непроницаемых неоднородностей продуктивных терригенных коллекторов методом КС.....	46
5.1 Модели неоднородно-	

стей.....	46	5.2 Теоретические предпосылки изучения маломощных неоднородностей...47
5.3 Обоснование методики оценки размеров неоднородностей.....	51	
5.4 Практические примеры.....	54	6.Определение характера насыщения маломощных пластов – коллекторов..57
6.1 Предпосылки решения задачи.....	57	
6.2Примеры из практики.....	58	
7. Подсчёт запасов.....	61	
7.1 Построение карт структурных и подсчётных параметров.....	61	7.2 Подсчёт линейных и объёмных запасов.....62
7. 3 Оценка погрешности подсчёта запасов.....	63	
8.Заключение.....	6	
5 Список литературы.....	67	

Учебное издание

САПОЖНИКОВ ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ

ГЕОЛОГО \_ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА

*Учебное пособие*

Редактор издательства *Л. В. Устьянцева*  
Компьютерная верстка *Н. Г. Сайгиной*

Подписано к печати  
Бумага писчая. Формат 60x84 1/16  
Печать на ризографе. Гарнитура Times New Roman  
Печ. Л. Изд. Л. Тираж 100 Заказ №

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, Куйбышева, 30  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный универси-  
тет»

Отпечатано с оригинал – макета  
В лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ПО ДАНЫМ ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

Направление подготовки

**1.6.9 Геофизика**

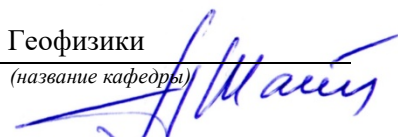
Автор: Сапожников В. М.

Одобрена на заседании кафедры

Геофизики

(название кафедры)

Зав.кафедрой

  
(подпись)

Талалай А. Г.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 05.10.2020

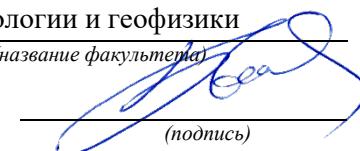
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией  
факультета

Геологии и геофизики

(название факультета)

Председатель

  
(подпись)

Бондарев В.И.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 13.10.2020

(Дата)

Екатеринбург  
2020

## Введение

Геолого – геофизическое моделирование (ГГМ) залежей нефти и газа проводится для получения необходимой информации используемой при подсчёте запасов и управлении разработкой месторождений углеводородов (УВ). Данные интерпретации ГИС с учётом результатов сейсморазведки 3-D и гидродинамических исследований позволяют решать следующие задачи:

- построить объёмную модель резервуара, содержащую информацию о промысловых свойствах и распределении в пространстве коллекторов, а также литологических и тектонических экранов;

- провести по ней подсчёт балансовых запасов углеводородов с прогнозом их извлекаемости;

- проектировать сеть дополнительных (разведочных, эксплуатационных, контрольных и нагнетательных) скважин на различных этапах разработки месторождений.

Моделирование залежей осуществляется на протяжении всего периода жизни месторождения, начиная от стадии завершения основных разведочных работ и кончая этапом его консервации с оценкой остаточных запасов с учётом существующих к этому моменту технологий извлечения углеводородов. Для моделирования создаётся база данных, которая последовательно пополняется и корректируется.

Построение начальной модели и её уточнение по мере извлечения добываемого продукта требует применения современной вычислительной техники и программных систем, позволяющих получать традиционные виды моделей в виде блок-диаграмм, карт, профилей, зависимостей, таблиц и т.д.

При изучении данного курса ставится задача познакомиться с принципами геолого-геофизического моделирования и получить навыки решения отдельных задач по формированию представления о строении в пределах месторождений геологической среды, пространственном положении, фильтрационно-емкостных свойствах и насыщенности углеводородами изучаемых объектов. Геологической основой моделирования могут служить обобщения, выполненные в учебном пособии (В. И. Русский). Более подробно технология геолого-геофизического моделирования изложена в учебнике и учебных

пособиях, подготовленных преподавателями РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, накопившим опыт исследований по теме рассматриваемой дисциплины [1,2].

## **1. Углеводородное сырьё и геологические структуры продуктивных горизонтов и пластов-коллекторов**

### **1.1 Нефть и природные горючие газы**

*Нефть-маслинистая жидкость*, представляющая сложный коллоидный углеводородный раствор. На дневной поверхности нефть имеет плотность  $0,82 - 0,92 \text{ г/см}^3$ , и лишь при обилии в ней смолистых веществ её плотность несколько выше  $1 \text{ г/см}^3$ . В пластовых условиях в нефти растворён газ и её плотность на 15-20 % ниже, чем на дневной поверхности. Нефти сильно разнятся по вязкости (сопротивлению перемещения при перепаде давления): от 5 до 20000 мПа·с. При высокой температуре и наличии растворённого газа их вязкость заметно (до одного порядка) ниже, чем на дневной поверхности.

*Природные горючие газы* представляют собой смеси в основном метановых УВ и их часто называют сухими. Газы, растворённые в нефти, называют попутными или жирными. Они резко отличаются от сухих значительным содержанием этана, пропана, бутана и высших УВ. Относительная (в сравнении с воздухом) плотность горючих газов меняется от 0,5 (сухой газ) до 1 и более (попутный газ). Растворимость газа в нефти примерно в 10 раз выше, чем в воде и повышается с ростом давления, но уменьшается с увеличением температуры.

*Газоконденсаты* - это газообразные смеси, состоящие из жирных газов и нефтяных УВ, находящихся в газообразном или парообразном состоянии. При снижении температуры и давления из смеси выделяется жидкая фаза - конденсаты, плотность которых колеблется в пределах  $0,6-0,8 \text{ г/см}^3$ .

*Газогидраты* представляют соединения, в которых при низких температурах молекулы газов или легких нефтей проникают в кристаллическую решетку воды. Внешне газогидраты похожи на снег и широко распространены в зоне вечной мерзлоты.

### **1.2 Концепции образования месторождений нефти и газа**

Согласно современным воззрениям нефть и горючие газы имеют преимущественно органическое происхождение. Однако в отдельных случаях они образуются в результате дегазации из мантии реакционных смесей водорода и простейших углеродистых соединений с их превращением в высокотемпературных очагах в нефтегазовые соединения.

Наиболее распространённый способ нефтегазообразования связан с многоступенчатым преобразованием органического вещества, содержащегося в глинистых или карбонатных породах, накопленного в морских, прибрежно-морских или континентальных условиях. В этих погруженных на большие глубины нефтегазоматеринских породах под воздействием биохимических процессов, нарастания температуры и давления образуется кероген (подобие горючих сланцев с содержанием углерода (60 – 80%), водорода (6 – 10%), серы (2 – 9%) и др. компонентов). Из керогена со временем генерируются углеводороды, которые в свободном или растворённом состоянии мигрируют в вышерасположенные коллекторы. Одним из способов миграции углеводородных флюидов является газовый перенос рассеянных микрочастиц нефти. Благодаря процессам эффузии газы могут мигрировать даже через довольно плотные горные породы. Возможны поступления УВ из осадочных пород, оказавшихся из-за движения плит внутри кристаллического фундамента.

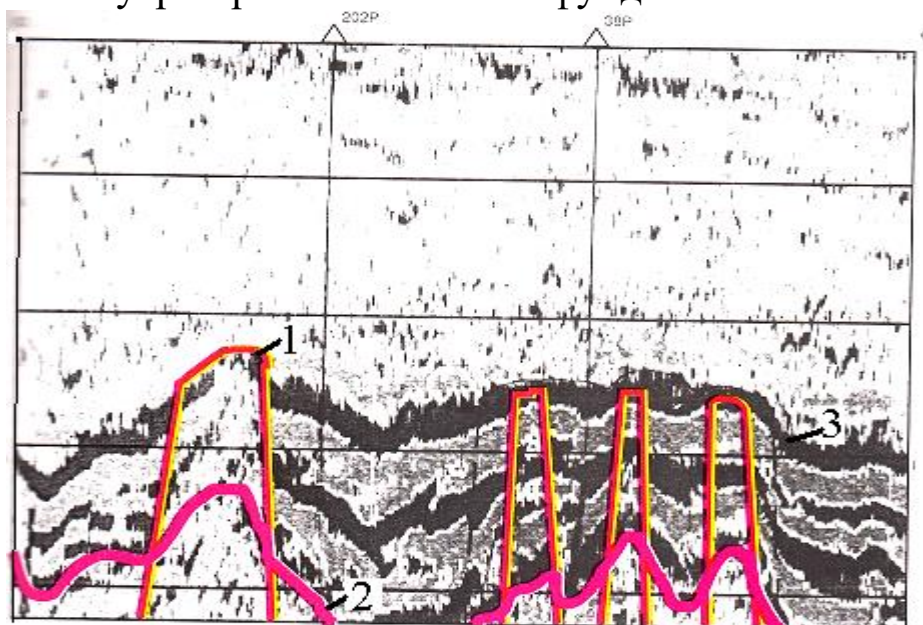


Рис.1.1. Фрагмент временного разреза с субвертикальными зонами деформации (СЗД). Краснотинский свод (западная Сибирь). 1-проявления СЗД; 2- граница фундамента; 3- отражающие горизонты [5]

Транспортировка УВ осуществляется большей частью по субвертикальным зонам разрывных нарушений или деструкций щелевой или трубчатой формы (рис.1.1). При этом важную роль играют геосолитоны, возникающие под действием импульсного геодинамического поля Земли. Эти энергетические импульсы доставляют порции УВ к породам - коллекторам, закупоренным покрышками из непроницаемых образований [5].

Существование субвертикальных зон деструкции (СЗД) в земной коре, играющих важное значение для транспортировки УВ и их размещения в высокопористых геологических телах, требует считаться с возможностью формирования как моделей сплошных, так и дискретных геолого-геофизических сред. Влияние СЗД может проявиться возникновением в пределах нефтегазоносных залежей мало-размерных участков с резко повышенными величинами проницаемости коллекторов и дебита УВ.

Миграция УВ может происходить не только из пород, в которых они образовались в коллекторы, но и из одного пласта в другой по трещинным зонам в направлении снижения давления. Миграция внутри одного наклонного пласта под действием гидродинамического напора воды приводит к образованию единой залежи или нескольких залежей в ловушках пласта с изгибами (рис.1.2).

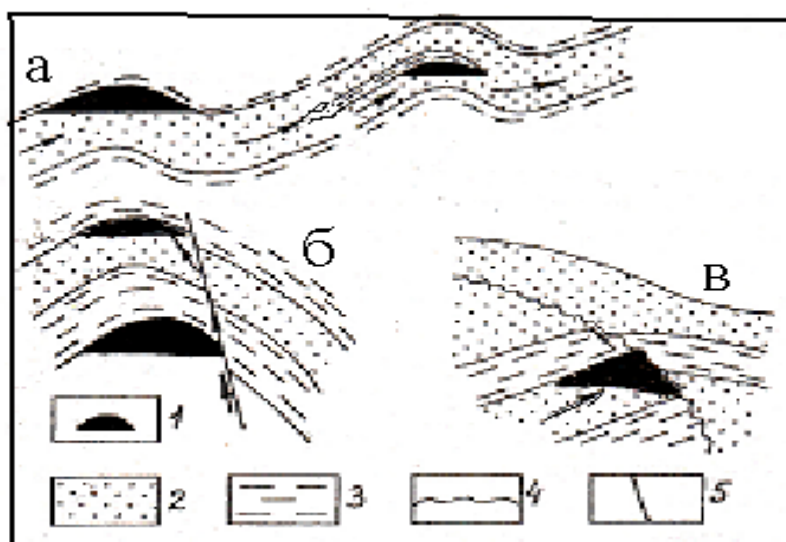


Рис. 1.2. Примеры проявления внутрипластовой и межпластовой миграция

1 – залежи УВ; 2 – пласт-коллектор; 3 – глины; 4 – поверхность несогласия; 5 – разрывное нарушение (В. И. Русский)

### 1.3. Формации и фации, благоприятные для нефтегазообразования и нефтегазонакопления

При построении геолого-геофизических моделей нефтегазовых месторождений необходимо учитывать их принадлежность к типам формаций и фаций, в которых они сформировались. Это позволяет использовать сведения о закономерностях присущих палеогеографическим и палеотектоническим обстановкам, в которых происходило образование этих месторождений, более успешно проводить корреляцию разрезов и прогнозировать качество пород-коллекторов и покрышек, а также распределение запасов УВ.

*Формация* представляет сообщество геологических тел, парагенетически связанных в возрастном и пространственном отношении, образовавшихся в определённых палеотектонических и палеогеографических условиях. По своему стратиграфическому объёму формация соответствует ярусу или отделу. Подавляющая часть нефтегазовых месторождений открыта в осадочных формациях. Для платформенных территорий типичны карбонатные, песчано-глинистые морские, песчано-глинистые угленосные и терригенно-карбонатные формации (Волго-Уральская, Западно-Сибирская, Восточно-предкавказская нефтегазоносные провинции и др.). Для складчатых областей более характерны флишеидные (чередование нескольких литотипов пород) и молассовые (чередование многочисленных маломощных песчано-глинистых слоев) формации (Предкавказская, Закавказская, Апшеронская нефтегазоносные провинции и др.).

*Фация* отражает обстановку осадконакопления и сами осадки. Интерес представляют фации благоприятные для формирования ловушек структурного и неструктурного типа и накопления УВ.

*Среди морских фаций* наиболее перспективны фации мелководья. Именно в прибрежной части палеоморей происходило формирование разнообразных песчаных образований, потенциально благоприятных для выполнения впоследствии роли коллекторов. Среди многообразия морских аккумулятивных форм наибольший интерес представляют устьевые и вдольбереговые бары, подводные валы, барьерные острова, косы, пляжи, а также отложения, связанные с вдольбереговыми и разрывными течениями. Они представляют скопления обломочного материала, принесённого волнами или потоками течений. В процессе своего формирования эти преимущественно песчаные разноформенные тела (рис.1.3) могли быть отде-

лены от берега морем (бары, валы, тела промоин), прислонены к берегу (косы, пляжи). Могли также постепенно перемещаться в сторону берега (трансгрессивные бары, барьерные острова) или моря (регрессивные бары), формироваться в понижениях пологого берега, заливаемых во время приливов (марши), и ограничиваться крутым уступом на берегу (клифом). Схематически картина образования таких песчаных тел изображена на рис. 1.4.

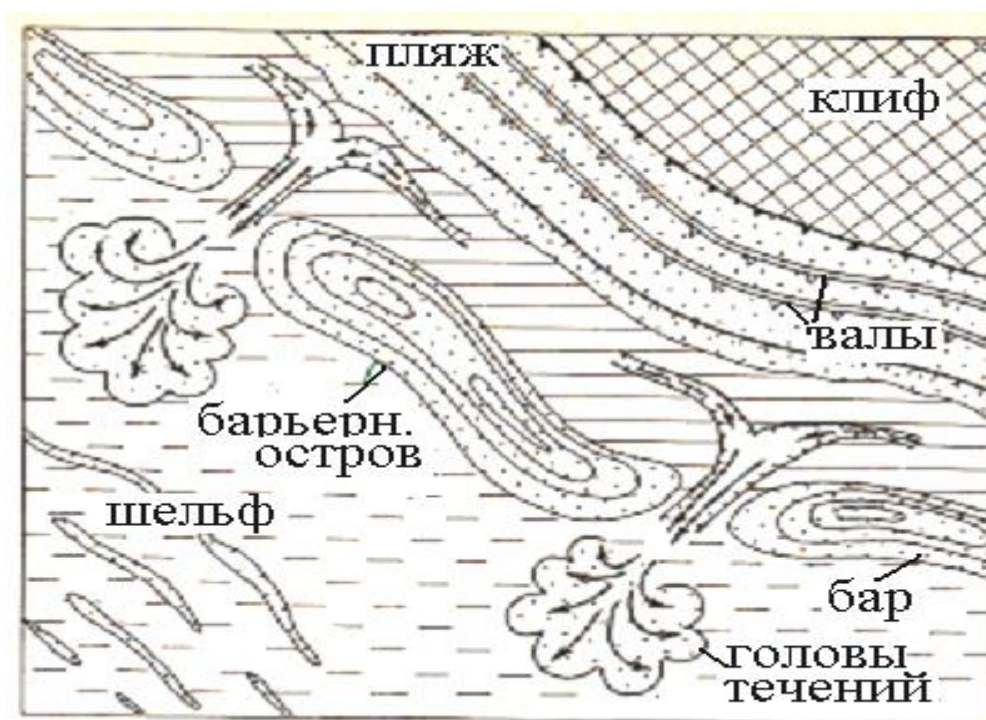


Рис. 1. 3. Схема образования и размещения аккумулятивных песчаных тел в прибрежной части мелководного моря (В. С. Муромцев)

*Группа фаций мелководного шельфа* формировалась в палеоморях на глубинах до ста метров. Здесь образовывались значительные скопления песчаного и алевритового материала, связанные с различного рода стоковыми течениями, которые заполняли крупные прогибы с формированием конусов выноса большой мощности. Глинистые породы распространены ограничено.

Мелководные морские отложения представляют скопления выдержанных по простиранию терригенных и карбонатных (органогенно-обломочных, рифогенных, оолитовых) пород, часто характеризующихся высокой пористостью и проницаемостью.

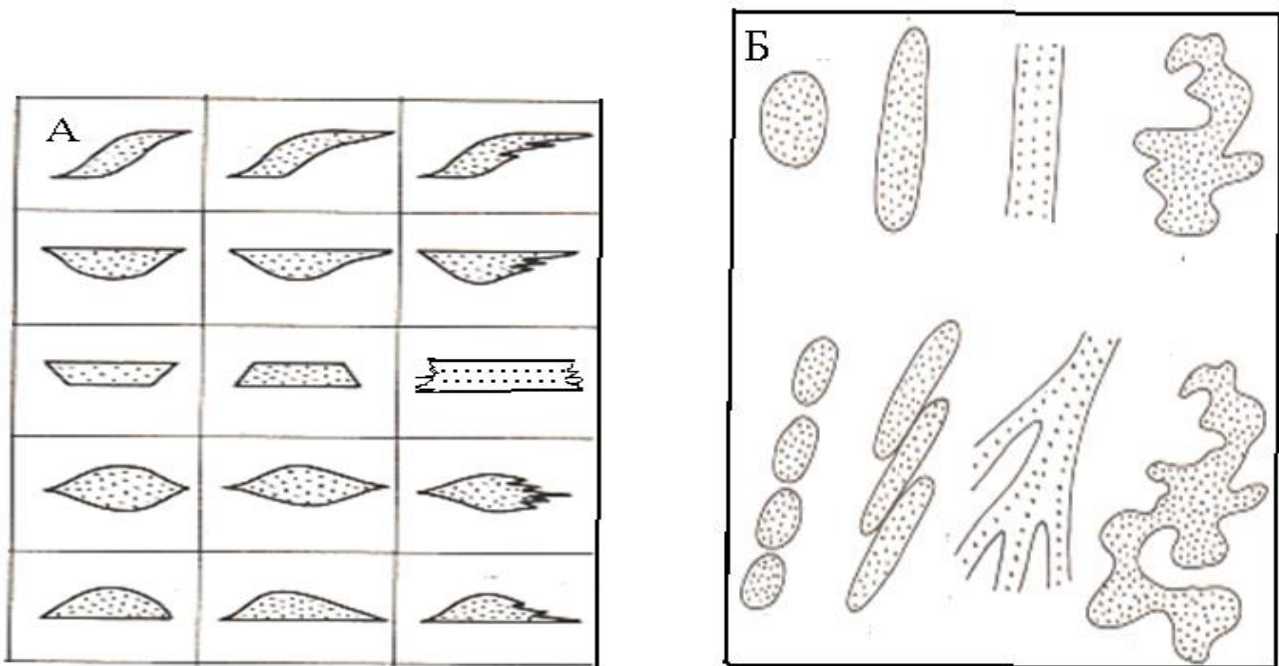


Рис. 1.4. Формы песчаных тел в поперечном сечении (А) и в плане (Б), типичные для прибрежного мелководья и шельфа (В. С. Муромцев)

Фаши умеренно-глубоководных частей шельфа представлены в большей части глинистыми отложениями, которые играют роль покровов высокого качества. Однако встречаются песчано-алевритовые, реже - грубообломочные породы, которые могут выполнять роль коллекторов.

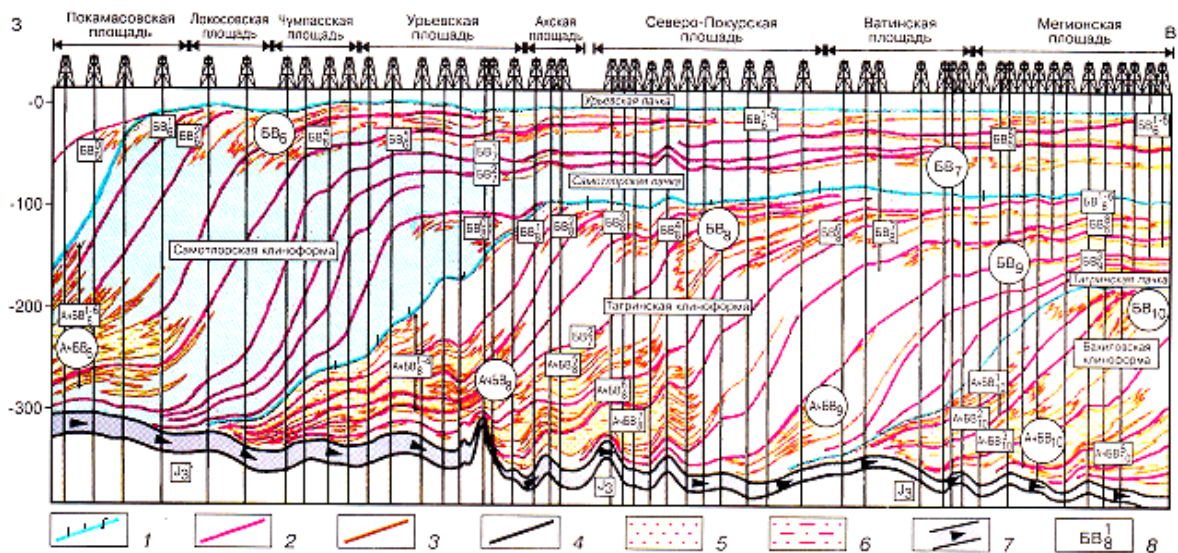


Рис.1.5. Принципиальная схема геологического строения западной части Нижневартовского свода (А. Л. Наумов)

1 -3 границы клиноформ; 4 = граница баженовской свиты; 5,6 – мелководные и глубоководные песчано-алевролитовые тела; 7 – битуминозные аргиллиты баженовской свиты; 8 – индексы продуктивных пластов

Часто при крутом погружении дна моря происходил сброс обломочных отложений с мелководья на глубину с образованием впоследствии песчаных тел, перекрытых известково-алевролитовым материалом. При этом происходило как перемещение берега, так и уровня моря. В результате формировались сложные тела, получившие название клиноформ, для которых характерны два уровня образования песчаников в одном линзообразно-вогнутом теле. Такие клиноформы типичны для многих месторождений Нижневартовского свода (Западная Сибирь) (рис. 1.5). При такой форме тел приходится учитывать различный возраст образования песчаных отложений, обнаруженных на одной глубине и единый возраст для разноглубинных тел.

Среди континентальных фаций наиболее перспективны аллювиальные отложения, образованные палеореками. Руслу древних рек, выполненные песчаными и песчано-галечниками образованиями и перекрытые глинистыми отложениями пойм, представляют благоприятные сочетания для образования тел-коллекторов

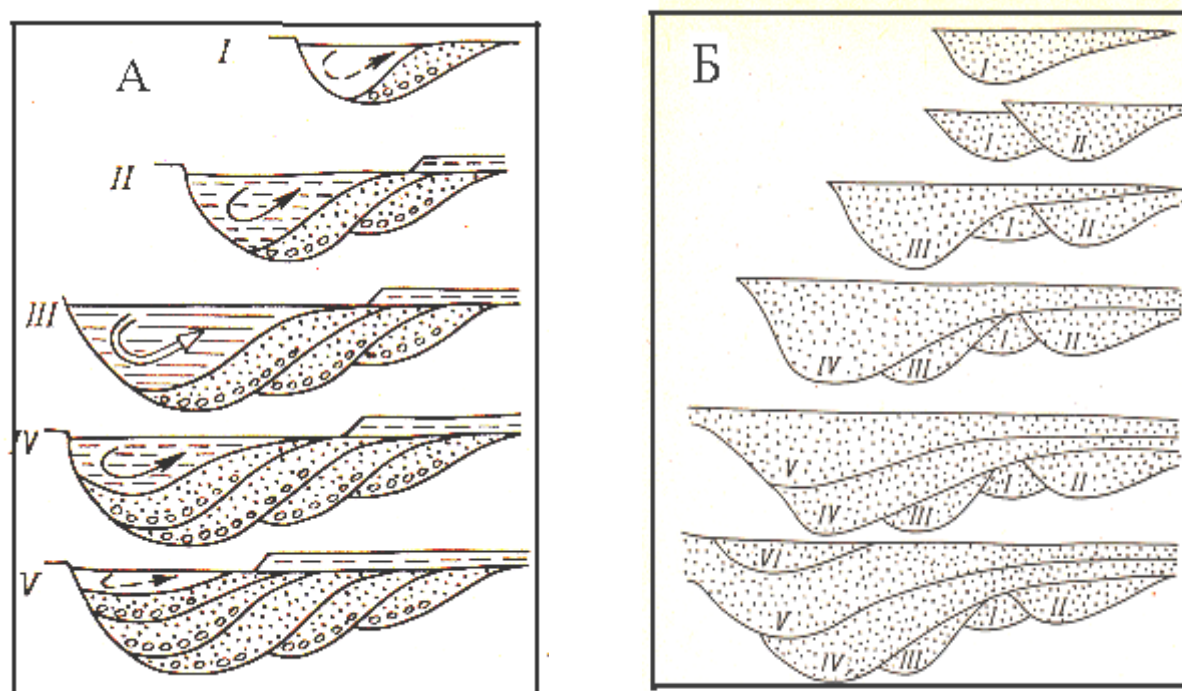


Рис. 1.6. Схемы последовательного формирования сегментов песчаных тел меандрирующей реки при различных гидродинамических и морфологических условиях

1- IV – очерёдность образования песчаных тел (В. С. Муромцев)

В течение длительного (геологического) времени палеореки реагировали на изменение рельефа и климата, что находило отражение в морфологии, составе, строении песчаных и глинистых пород, выполнявших их долины. Образовывались простые и сложные формы русел с появлением серии наложенных песчаных тел у меандрирующих рек (рис.1.6).

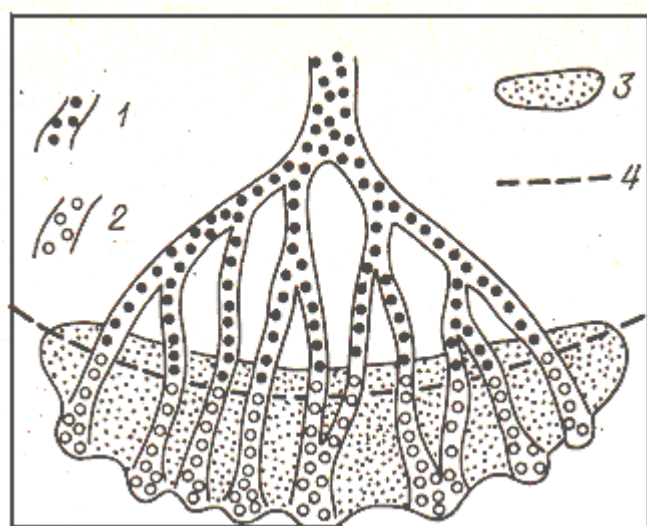


Рис. 1. 7. Схема расположения песчаных тел в пределах дельтового комплекса реки равнинного типа

1 - главные и боковые русла;  
2 – подводные борозды; 3 - авидельта; 4 – морской край дельты  
(В. С. Муромцев)

Многочисленные и сложные песчаные образования формировались в устьях палеорек. Дельтовый комплекс фаций включает фации нескольких групп со своими отличительными признаками: верхней и нижней равнины, морского края, подводного склона (авидельты). Упрощенная схема расположения песчаных тел дельтового комплекса показана на рис. 1.7.

Процессы осадкообразования протекают часто циклично с повторяемостью сочетаний разнотипных образований. Это связано с периодическими явлениями трансгрессии (наступление моря на сушу) и регрессии (отступление моря). Циклическое строение осадочных толщ используется для выделения структурно-формационных этажей, ярусов и более детального их расчленения на группы и отдель-

ные фации. При этом возникают сложности, связанные с тем, что в континентальных, прибрежно-морских и дельтовых отложениях отдельные песчаные пласты не всегда выдержаны по простиранию, меняются по мощности, разветвляются (бифуркируют), выклиниваются и вновь появляются. Помогает построение схем последовательности залегания разновозрастных отложений, позволяющих установить условия осадконакопления, характерные для отдельного цикла, например при проявлении регрессии или трансгрессии, и учитывать специфику формирования фаций. Так на схеме (рис.1.8) дана классификация участка разреза, для которого характерна цикличность в формировании морских и континентальных отложений при проявлении регрессии. Установлено, что на этом участке, где существовали условия мелководья, (глинистые отложения) начали формироваться песчаные тела авандельты, затем надводные фации, но впоследствии здесь снова восстановились условия мелководья.

Помогают выделить циклы формирования фаций литологические признаки отложений, а также формы аномалий на диаграммах геофизических методов исследования скважин и в первую очередь данные электротомии. Более подробно этот вопрос рассмотрен ниже.

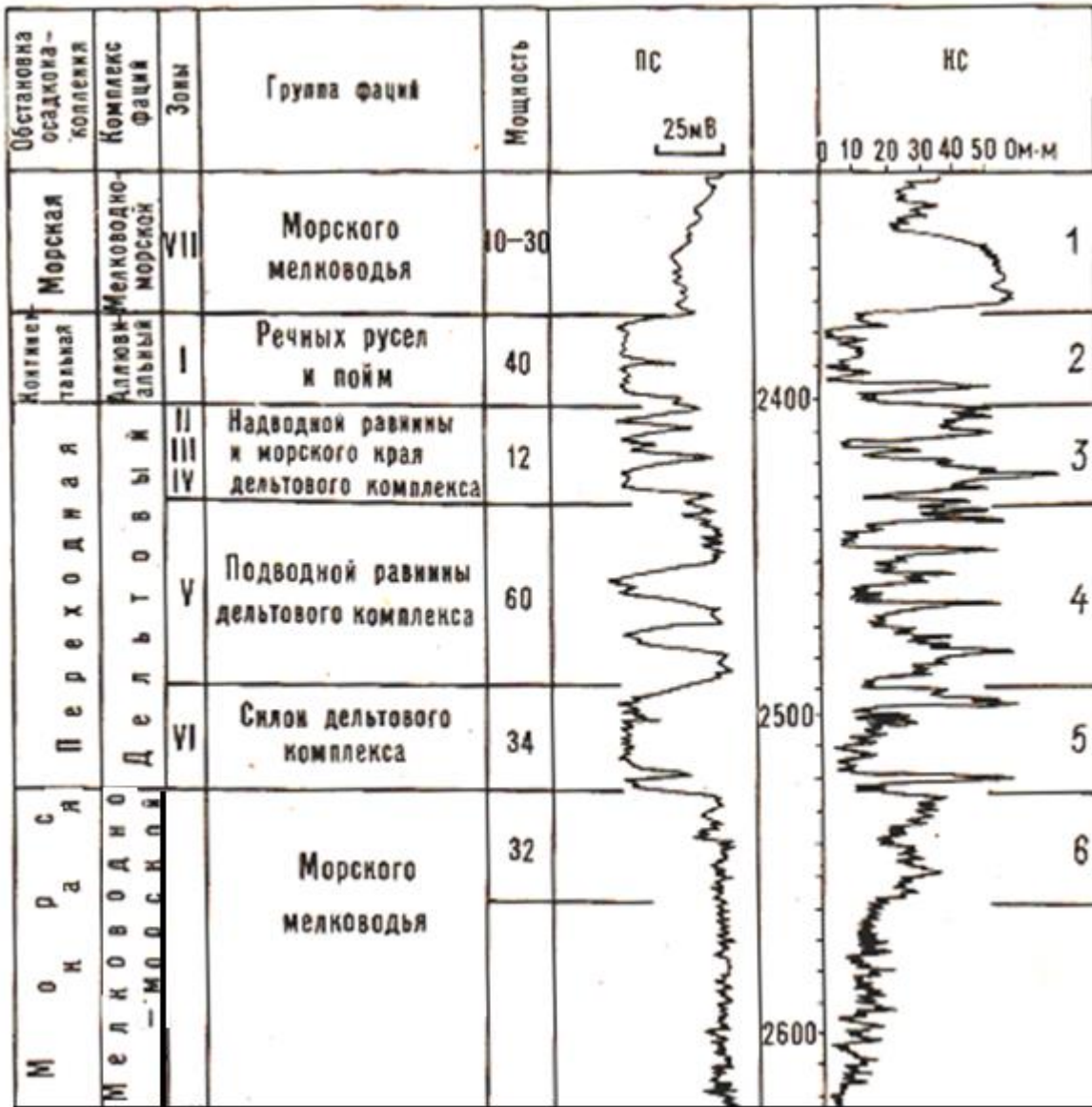


Рис. 1.8. Схема последовательности залегания группы фаций регрессивно-дельтового комплекса и их электрометрическая характеристика (В. С. Муромцев)

#### 1.4. Природные резервуары, ловушки и залежи нефти и газа

Подземные скопления нефти и газа содержатся в так называемых *природных резервуарах*. Ими именуются пласты, толщи и массивы пористых и проницаемых для нефти и газа пород-коллекторов, которые частично или со всех сторон ограничены практически

непроницаемыми породами. Природные резервуары образованы песчано-алевролитовыми, карбонатными, а в некоторых случаях изменёнными магматическими породами. Различают три основных их типа: пластовые, массивные и литологически ограниченные резервуары.

*Непроницаемые толщи (флюидоэкраны)* сложены преимущественно глинистыми, сульфатными, соленосными породами, реже плотными карбонатными породами. Природные резервуары всегда в той или иной степени водонасыщенны.

Будучи легче воды, нефть и газ всплывают к кровле резервуара и скапливаются в его наиболее возвышенных местах. Часть природного резервуара, в которой существуют застойные условия для подвижных флюидов, то-есть устанавливается равновесие между силами, вызывающими перемещение флюидов и препятствующими им, называется *ловушкой*. В ловушках создаются благоприятные условия для накопления нефти и газа.

Различают несколько типов ловушек:

структурные, образованные в результате изгиба слоёв (сводовые) или нарушения их сплошности (тектонически экранированные);

стратиграфические, когда близкие по литологии толщи разделены поверхностью несогласия;

литологические, сформированные в результате выклинивания песчаных пород в непроницаемых толщах,

погребённых массивов с участками высокопроницаемых пород (риффы, изменённые поднятия кристаллического фундамента).

Классификация ловушек близка к классификации залежей нефти и газа, поскольку УВ занимают часть или весь объём ловушки и имеют общие элементы строения.

*Залежи нефти и газа* представляют собой локальное скопление УВ в ловушке, т.е. её продуктивную часть. Совокупность залежей УВ образуют месторождение (газовое, нефтегазовое, нефтяное).

Газ, нефть и вода располагаются в ловушке в соответствии с их плотностью. Поверхности контакта газа и нефти, воды и нефти называются поверхностями газонефтяного (ГНК) и водонефтяного (ВНК) контактами соответственно (рис. 1.9 А). Линии пересечения поверхности ВНК (ГНК) подошвы с поверхностью кровли продуктивного пласта представляет внешний контур нефтеносности (газосности). Если поверхность контакта горизонтальна, то контур

нефтеносности (газоносности) в плане параллелен изогипсам кровли пласта. При наклонном положении поверхности ВНК (ГНК) на структурной карте контур нефтеносности (газоносности) будет пересекать изогипсы кровли, смещаясь в сторону наклона поверхности раздела.

Контакты между разнотипными флюидами могут быть не резкими из-за присутствия переходной зоны, в которой существует смесь флюидов. Например, в нефтенасыщенной части залежи с глубиной происходит её обеднение с увеличением доли воды.

Представление о примерах сосредоточения нефтегазовых залежей в некоторых типах ловушек даёт обобщение, приводимое на рис. 1.9.

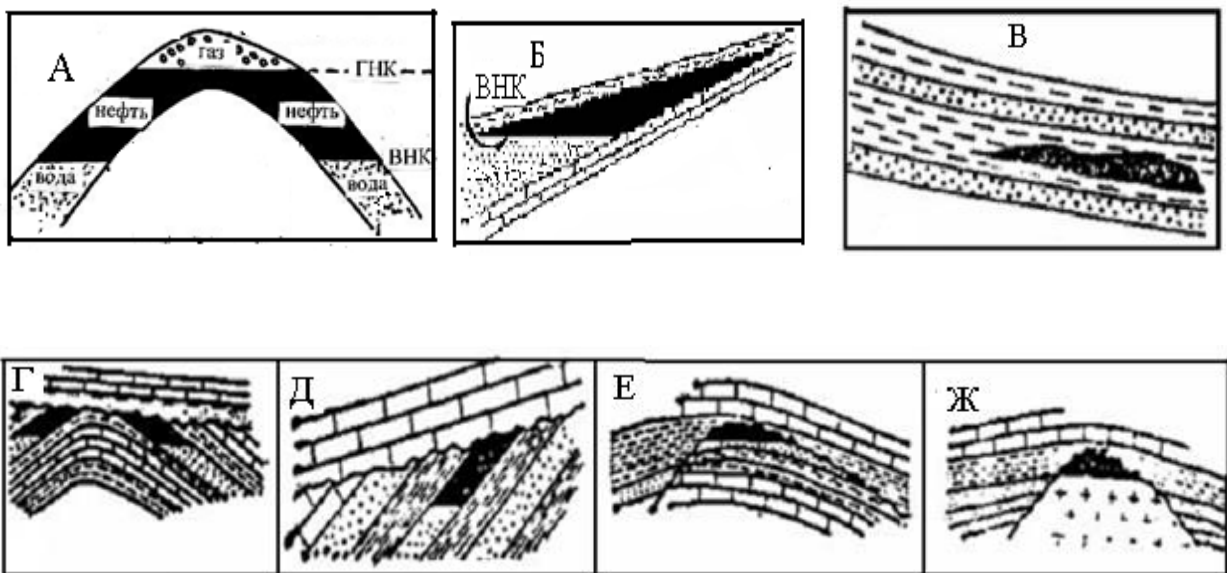


Рис. 1.9. Примеры типовых ловушек и нефтегазовых залежей

А – пластовая сводовая залежь в структурной ловушке (линейные антиклинали и брахиантиклинали) ; Б – Залежь в стратиграфической ловушке, образованной поверхностью несогласия; В – Залежь в литологической ловушке (выклинивание песков в глинах); Г,Д – пластовые залежи в стратиграфических ловушках (пласты-коллекторы срезаны эрозией и несогласно перекрыты молодыми непроницаемыми породами); Е - пластовые залежи, экранированные разрывом; Ж – массивные залежи в выступах (риффы, поднятия кристаллического фундамента) под сводовыми экранами

## **1.5 Исходные данные и этапы построения геолого-геофизической модели нефтегазовой залежи**

Работа по созданию модели начинается со сбора данных на фиксированную дату, но впоследствии по мере поступления новых данных производится корректировка модели. Моделирование начинается с построения емкостной модели, затем на базе геолого-структурного и ёмкостного моделирования формируется фильтрационная модель, а завершаются построения созданием флюидно-динамической модели.

В моделировании принимают участие специалисты в различных областях знаний, так как решаются разноплановые задачи. Главными из них являются подсчёт запасов (ёмкостная модель), изучение распределения фильтрационных характеристик коллекторов с определением путей миграции флюидов и рационального размещения добывающих скважин (фильтрационная модель), исследование состава флюидальной системы и её термобарического состояния, знание которых необходимо для принятия правильных решений по нефтегазоизвлечению (флюидально-динамическая модель).

Ограничимся наиболее детальным рассмотрением процесса создания ёмкостной модели, при котором наибольший вклад вносят специалисты - геофизики, хотя их участие необходимо и при более углублённом геолого-математическом моделировании нефтегазовых залежей.

Материальной основой для моделирования являются данные ГИС, подкреплённые результатами ГТИ и исследований керна, по всем скважинам на площади природного резервуара. Эти данные, получаемые обычно для каждой скважины после завершения её бурения, включают конфигурацию и положение трассы скважины в пространстве, геологические колонки с выделенными пластами - коллекторами. В первую очередь для коллекторов определяются их эффективные толщины, характер насыщения, глинистость, остаточная водонасыщенность, плотность, пористости (общая, эффективная, динамическая), проницаемость. Для продуктивных пластов с раз-

ным характером насыщения определяют контакты участков с разными флюидами (ГНК, ГВК, ВНК), а также коэффициенты  $K_r$ ,  $K_n$  (или  $K_{нг}$ ).

Стандартными составляющими процесса разведки и ГГМ являются данные сейсморазведки. Поэтому исходные материалы для моделирования включают разрезы времён отражения, полученные при проведении 3D или 2D сейсморазведки с привязкой к скважинам, результаты вертикального сейсмического профилирования (ВСП) по отдельным скважинам.

На первом этапе ГГМ по данным сейсморазведки создаётся структурная «толстослоистая» модель всего месторождения с отображением основных горизонтов. Полученные результаты представляют некоторый каркас структуры изучаемой среды. Полученные по данным ВСП характеристики средней скорости в разрезе, а также применение моделирования сейсмотрасс по скважинам и сопоставление их с сеймотрассами полевой сейсморазведки, позволяет выполнить для волновых полей преобразование типа «время – глубина». Это позволяет на сейсмических разрезах определить глубины отражающих горизонтов и их соответствие границам пластов, выделяемых по данным ГИС.

С использованием глубинных сейсмических разрезов проводится детальная корреляция разрезов по данным ГИС. При этом уточняется литологическое расчленение разреза с определением флюидных контактов в пространстве. Завершение данной работы позволяет перейти к построению «тонкослоистого» модели месторождения в виде каркаса продуктивных пластов. Одной из важных задач является правильное стратиграфическое расчленение разрезов глубоких скважин. Как правило, выбирается в качестве эталона одна или несколько скважин, изученных наиболее детально, чьи стратиграфические разбивки переносятся на корреляционные разрезы. По корреляционным профильным разрезам, в первую очередь проложенным вкрест простирания осевых частей структуры изучаемого объекта, определяют принципиальные черты его геологического строения и историю формирования.

Совокупность собранных данных позволяет выявить пористое пространство в изучаемой среде, геометрические размеры продуктивных пластов и их насыщенность нефтью и газом. Эти размеры обычно определяют по структурной карте месторождения, на которой нанесены изогипсы какой – либо маркирующей поверхности пласта. Строятся также карты эффективных мощности ( $h_{эф}$ ), общей и эффективной пористости ( $K_p$ ,  $K_{п\ эф}$ ), проницаемости ( $K_{пр}$ ), коэффициентов нефтенасыщенности и газонасыщенности ( $K_n$ ,  $K_g$ ), линейных запасов по скважинам (произведений  $h_{эф}K_pK_n$  ( $h_{эф} K_pK_g$ )) и др. параметров. Эти данные позволяют вычислить объёмы пористых продуктивных пластов или их частей с различным характером насыщения, а также запасы нефти и газа. Для большей наглядности по отдельным профилям строят графики линейных запасов.

Процедура геометризации залежей нефти и газа может проводиться вручную или с применением компьютерных технологий.

Дальнейшая работа с моделью залежи предполагает участие геологов и гидродинамиков.

## **2.Использование сейсморазведки при изучении нефтегазовых резервуаров**

### **2.1 Предпосылки применения сейсмических исследований при геолого-геофизическом моделировании**

Объединение данных бурения, ГИС и сейсморазведки, получаемых в процессе разведки и разработки нефтегазовых залежей, позволяет повысить информативность исследований строения изучаемой геологической среды и в первую очередь продуктивных объектов. Достоинство сейсморазведки состоит в том, что с её помощью удаётся получить представление о распределении геологических и петрофизических границ во всём изучаемом объёме среды, хотя детальность этих исследований по глубине ограничена.

Для того чтобы данные полевой сейсморазведки можно было использовать для геологических построений они подвергаются специализированным системам обработки (многообразные варианты

фильтрации, введение поправок во времена и амплитуды колебаний и др.). В результате строят сейсмические разрезы и кубы, на которых приводятся волновые изображения среды в виде отражающих горизонтов с отображением погрешности обработки (рис. 1.1).

Сейсмические трассы могут располагаться между скважинами, что способствует более достоверному решению задач корреляции и, следовательно, успешному геолого-геофизическому моделированию залежей.

Сейсмические трассы, получаемые в результате обработки полевых данных, состоят только из волн, образовавшихся в результате отражения от последовательности геологических границ. На рис. 2.1 представлена простейшая модель пласта (с покрывающей и подстилающей средами), толщина которого больше длины падающей импульсной сейсмической волны. В этом случае возникают отдельные отражённые волны от кровли и подошвы пласта, а времена их возвращения на дневную поверхность характеризуют глубину этих границ

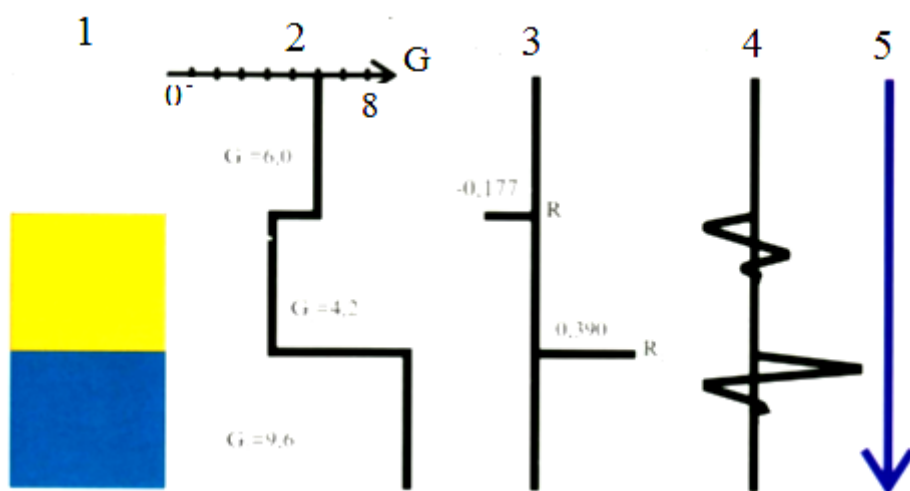


Рис. 2.1. Модель трёхслойной среды с различными величинами импеданса ( $G$ ), коэффициентами отражения ( $R$ ) и отражёнными волнами, соответствующими границам слоев

1 – трёхслойная среда; 2 - график  $G$ ; 3 - величины  $R$  на границах слоёв; 4 - отражённые волны; 5 – шкала времени

Как и в природе, каждый слой пород характеризуется плотностью ( $\sigma$  г/см<sup>3</sup>) и скоростью ( $V$  км/с), а также сейсмическим импедансом  $G = \sigma \cdot V$ . В примере, иллюстрируемом рис.2.1, слои характеризуются

сверху вниз по плотности значениями 1,8, 2,05 и 2,4 г/см<sup>3</sup>, а по скорости значениями 2,3, 2,42 и 4 км/с.

Амплитуды отражений определяются величинам коэффициентов отражения  $R$  от соответствующих границ. Если контактируют слои  $i$  и  $i+1$ , залегающие выше и ниже границы, то для границы

$$R_i = (G_{i+1} - G_i) / (G_{i+1} + G_i). \quad (2.1)$$

Как следует из формулы (2.1) коэффициенты отражения и соответствующие им амплитуды отражения могут быть положительными и отрицательными. Так в рассматриваемом примере слоистой среды величины  $R$  имеют значения  $-0,177$  и  $0,39$ .

## 2.2 Интерпретация сейсмических данных

Знание распределения коэффициентов отражения по глубине (по данным ГИС для одной из скважин) позволяет построить синтетическую сейсмическую трассу, с амплитудами соответствующими коэффициентам отражения. Это позволяет сопоставить её с реальной сейсмической трассой на профиле, проходящем через скважину, по которой выполнен каротаж методами ГГК и АК, и преобразовать временной сейсмический разрез в глубинный разрез. Пример выполнения привязки временного разреза к глубине изученной каротажом скважины путем сопоставления синтетической и реальной сейсмограмм приведён на рис. 2.2.

Следует только учитывать, что толщины изучаемых геологических пластов в разрезе могут быть меньше чем длины сейсмических волн (на больших глубинах это 200 – 300 м). Проблема вертикального разрешения заключается в возможности оценки временной задержки между двумя импульсами отраженными от кровли и подошвы слоя, когда из – за малой мощности этого слоя импульсы интерферируют, образуя общий импульс сложной формы. Вертикальное разрешение оценивается по отношению к видимой длине волны.

Поэтому сейсмическая трасса представляет не последовательность разделённых во времени отражённых волн, но возможно результат наложения таких волн друг на друга. В связи с этим явлением при определении и прослеживании границ отражающих горизонтов на волновых полях целесообразно ориентироваться на точки смены полярности волновых импульсов, как это показано на рис. 2.3.

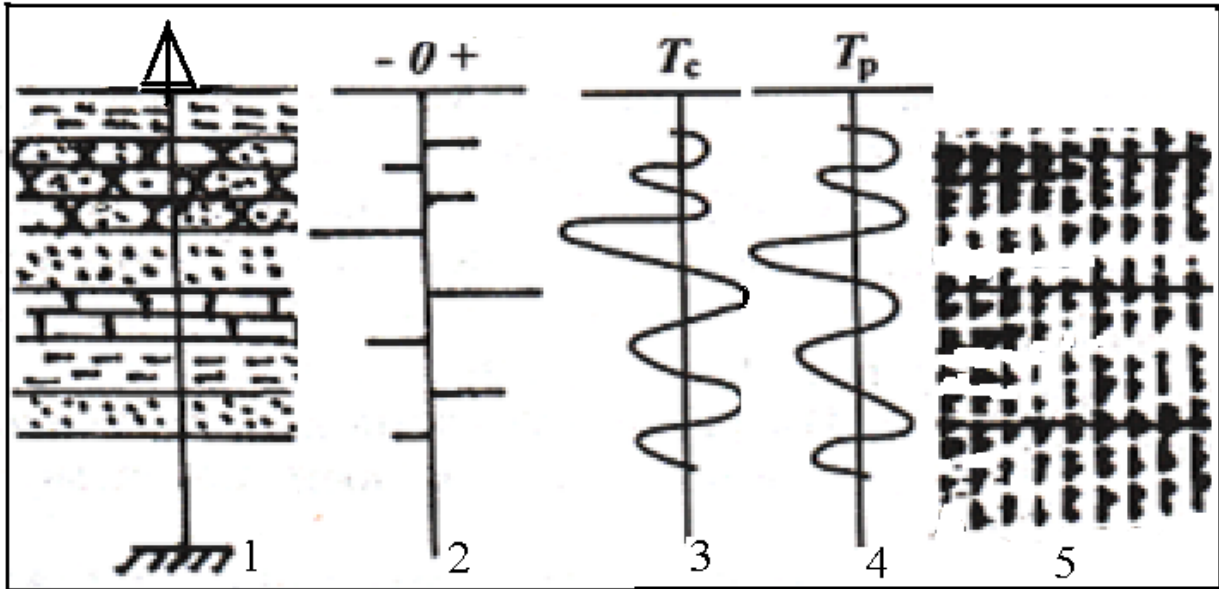


Рис. 2.2. Пример сопоставления данных изучения разреза по скважине с сейсмическим разрезом, позволяющим использовать последний для геолого-геофизического моделирования нефтяной залежи

1 – скважина с известным геологическим разрезом; 2 – графическое представление коэффициентов отражения; 3 – синтетическая трасса по скважине; 4 – сейсмическая трасса, совпадающая со скважиной; 5 – фрагмент временного сейсмического разреза, проходящего через скважину, сопоставленный со скважиной (по В. В. Стрельченко)

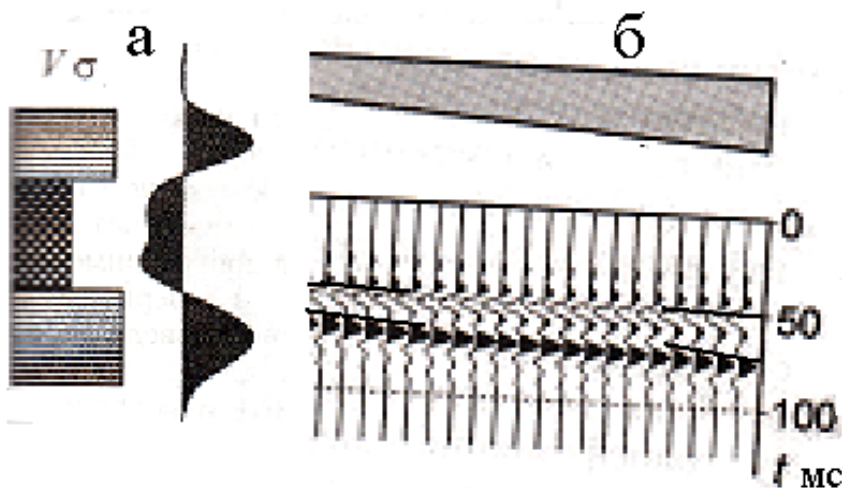


Рис. 2.3. Примеры выделения границ слоев с различными упругими свойствами по одной сейсмотрассе (а) и их совокупности (б) (по Ю. Н. Воскресенскому)

Для преобразования временных сейсмических разрезов в глубинные разрезы используют данные вертикального сейсмического профилирования (ВСП), проводимого по одной или нескольким скважинам, вскрывшим изучаемый нефтегазовый резервуар. При

ВСП устанавливается соотношение: время пробега волн – глубина в точках скважины. Суть метода иллюстрирует рис. 2.4. Данные ВСП помогают не только более точно привязать временные разрезы полевой сейсморазведки к глубинам скважин, но и получить изображение отражающих горизонтов в околоскважинном пространстве (рис. 2.4 б).

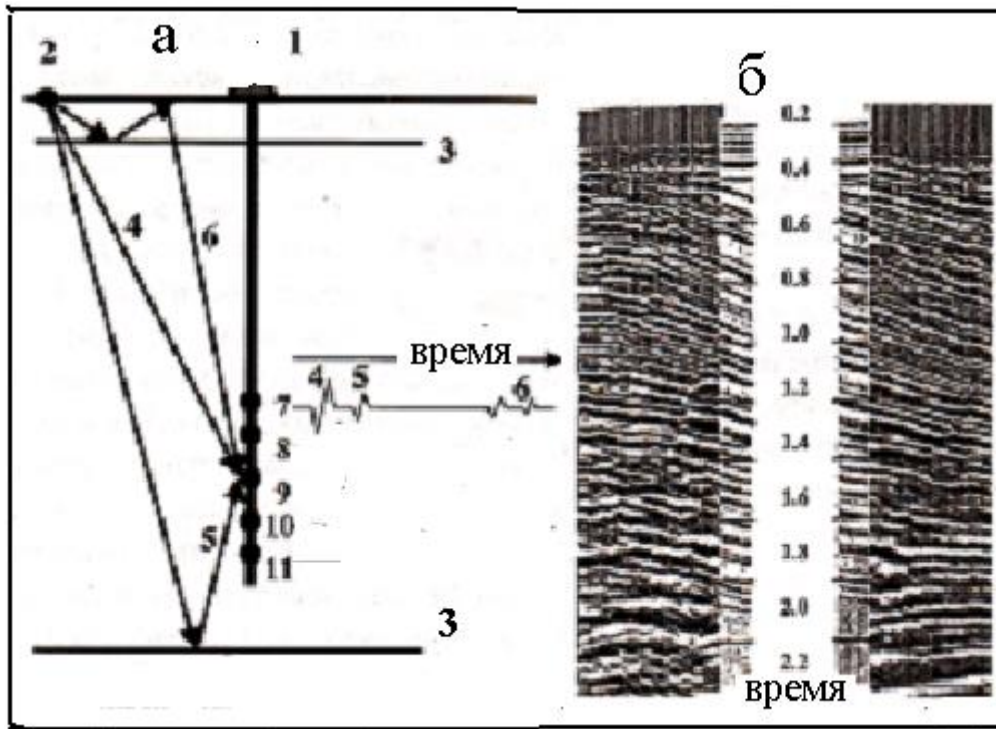


Рис. 2.4 Принцип проведения ВСП (а) и разрез волновой картины, получаемый при этом (б)

1 – скважина; 2 – источник на левом луче на земной поверхности; 3 – отражающие границы; 4 – прямая волна; 5 - отражённая восходящая волна; 6 – отражённая нисходящая волна; 7 – 11 регистрирующие датчики и одна из сейсмограмм

Одна из главных решаемых задач при проведении ВСП - это определение зависимости средней скорости  $V_{cp}$  от глубины  $H$ . Для этого строится продольный вертикальный годограф  $t(H)$ , пример которого показан на рис. 2.5. На нем выделяют интервалы, с одинаковым градиентом, которые соответствуют однородным по свойствам пластам. Далее определяют пластовую скорость  $V_{пл} = \Delta H / \Delta t$  и среднюю скорость в покрывающей толще  $V_{cp} = H/t$ .

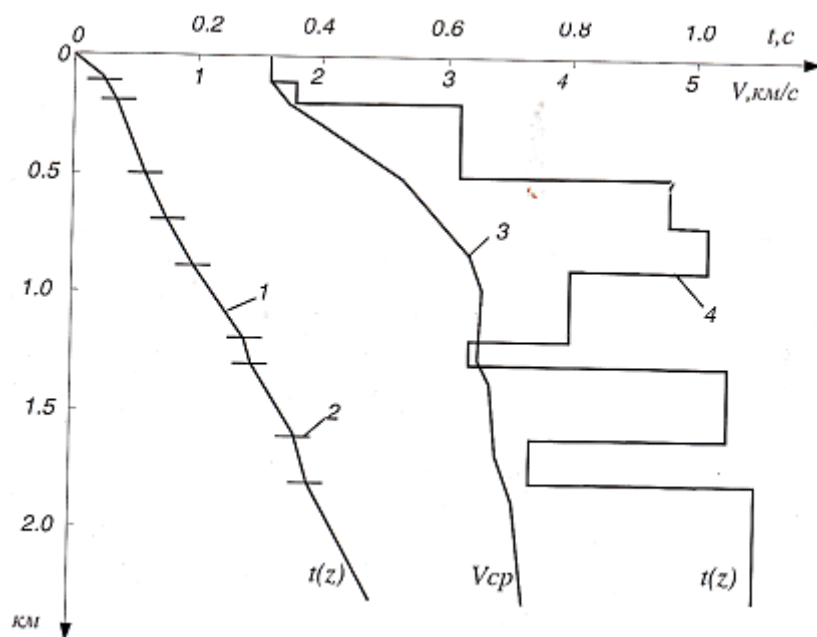


Рис. 2. 5. Пример использования вертикального годографа (1) с выделенными на нем границами пластов (2) для построения зависимости средней скорости от глубины  $z \sim H$  (3) и определения графика пластовой скорости (4)

В полевой сейсморазведке преобразование временного разреза в глубинный разрез в общем случае предполагает проведение сложной математической процедуры - миграции. Однако, используя график средних скоростей ( $V_{cp}$ ), полученный при ВСП или вычисленный по данным ГИС, шкалу глубин ( $H$ ) для совпадающей со скважиной трассы временного разреза полевой сейсморазведки с учётом двойного времени ( $t$ ) прихода волны от источника к приёмнику, можно приблизительно оценить по формуле

$$H = \sqrt{(tV)^2 - x^2} / 2, \quad (2.2)$$

где  $x$  – расстояние от источника до скважины. При больших глубинах для определения  $H$  используют приближённую зависимость:

$$H \approx tV/2. \quad (2.3)$$

Крупномасштабная детальная сейсморазведка во многих случаях фиксирует структурные особенности изучаемых нефтегазовых резервуаров. Пример фрагмента временного разреза на одном из таких объектов в интервале 1,3 – 1,6 с. приведен на рис. 2.6. На разрезе в интервале 1,3 – 1,4 с. коррелируемыми волнами с положительной

амплитудой фиксируется куполовидная кровля толщи песчаников, под экраном из глинистых отложений. Резервуар углеводородов в песчаных породах разделяется на газо и нефтенасыщенные части. Газо-нефтяной контакт, ниже которого породы имеют более высокий сейсмический импеданс, отчетливо фиксируется положительными амплитудами волн на уровне времени 1,4 с. В совокупности данные этого сейсмического временного разреза после определения масштаба глубин позволяют построить каркас нефтегазового резервуара по профилю.

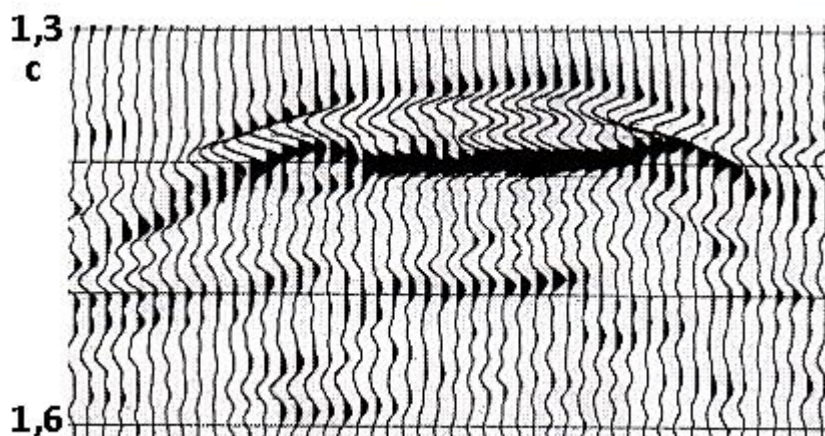


Рис. 2.6. Фрагмент временного сейсмического разреза по профилю проходящему над газонефтеносной залежью [5]

Глубинные сейсмические разрезы, полученные в результате преобразования шкалы времени в шкалу глубин, используются при решении следующих задач:

- корреляция пластов в межскважинном пространстве;
- выявление и тассирование тектонических нарушений
- картирование поверхностей коллекторов;
- уточнение пространственных контуров залежей.

### **2.3. Корреляция сейсмических горизонтов, выявление тектонических нарушений**

Корреляция заключается в прослеживании одного и того же отражающего горизонта по площади сейсмических исследований. Эта

процедура может выполняться в автоматическом или ручном режиме. Используются совокупности признаков сходства сигналов, проявляющиеся на соседних сейсмических трассах. Корреляция начинается с прослеживания опорных отражений, наиболее устойчивых на участке исследований. Часто такими опорными горизонтами служат контакты плотных пород (плотные песчаники, известняки и др.) с рыхлыми глинами. Для менее выраженных горизонтов признаки корреляции могут нарушаться по геологическим признакам (изменение литологического состава пород, плавного выклинивания), за счёт разломов, а также вследствие вариаций толщин пластов внутри отражающей пачки. И хотя сейсмические разрезы в случае малой мощности слоёв могут по глубине не идеально совпадать с геологическими границами, они помогают установить главные закономерности в пространственном размещении большинства пластов и в первую очередь продуктивных коллекторов.

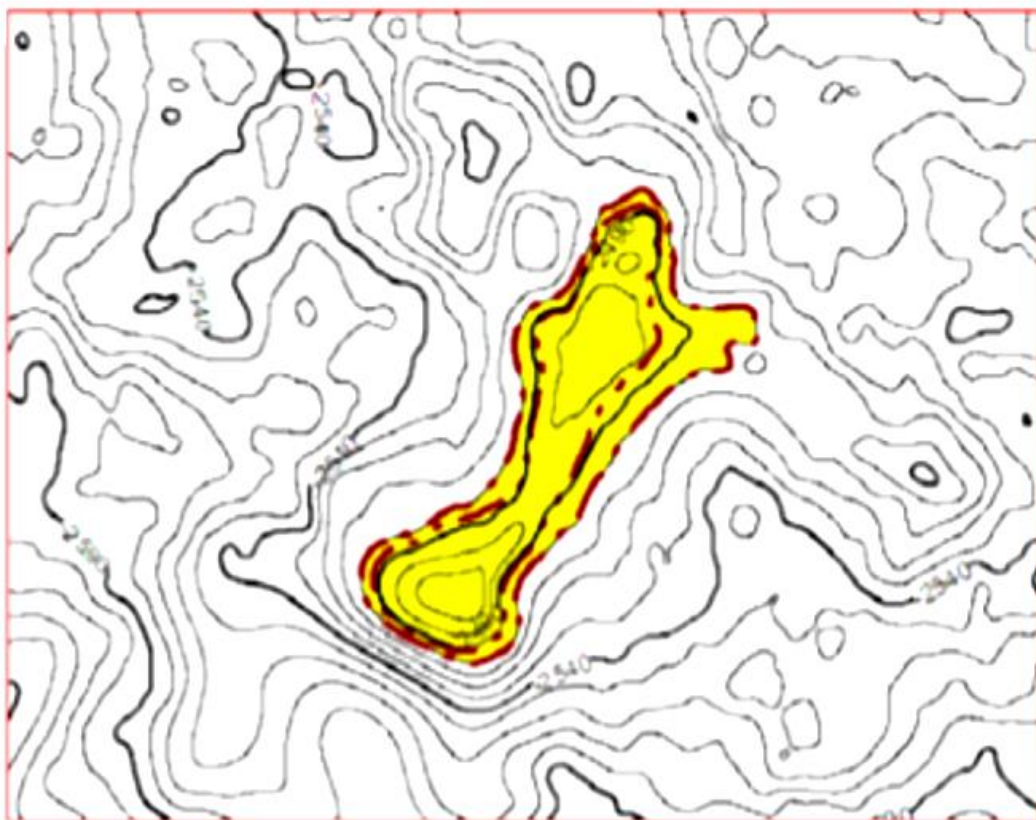


Рис. 2.6. Пример структурной карты по кровле опорного отражающего сейсмического горизонта (изолинии равных глубин кровли проведены через 10 м.) с выделенным по данным ГИС контуром залежи

Тектонические нарушения выявляют по наличию в волновом поле закономерно расположенных субвертикально ориентированных нарушений плавности в корреляции сигналов между соседними трассами, изменения времён, формы и интенсивности колебаний для отражённых волн. Примеры проявления разрывных нарушений в волновом поле можно наблюдать на рис. 1. 1.

Результаты определения положения на сейсмических профилях опорных отражающих горизонтов позволяют строить структурные карты для этих горизонтов, которые могут быть более детальными, чем структурные карты, построенные по данным ГИС. Первоочередной интерес представляют структурные карты кровли и подошвы продуктивных отложений, а также карты их мощностей. Полученные карты используют для корректировки карт данных ГИС. Пример построения по опорному горизонту структурной карты, отражающей сводовый характер изучаемого нефтегазового месторождения, показан на рис. 2.6.

#### **2.4. Сейсмические оценки изменения свойств резервуаров в период их разработки**

#### **2.4. Сейсмические оценки изменения свойств резервуаров в период их разработки**

В настоящее время применение сейсморазведки не ограничивается поисково – разведочными работами. Широко используется сейсмическая крупномасштабная съёмка на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях. Высокая разрешающая способность современных технологий позволяет фиксировать изменения свойств изучаемых объектов, связанных с извлечением углеводородов. Успехи сейсмического мониторинга резервуаров нефти и газа позволил ввести в обращение термин *4D* сейсморазведка, в котором подчеркивается использование четвертого измерения, каким является календарное время.

Передвижение флюидов в резервуаре в процессе эксплуатации приводит к изменению упругих свойств и плотности пород, связанных с замещением одних флюидов другими. Со временем изменяются в пространстве положения газо-нефтяного водо – нефтяного контактов внутри резервуаров. Это приводит к изменению распределения акустических свойств пород, что позволяет зафиксировать эти

эффекты сейсморазведкой и использовать при изучении состояния углеводородосодержащих толщ.

Принцип использования измерений 4D сейсморазведки демонстрация на уровне нефтяного пласта, зарегистрированные при одном положении системы наблюдений, но в существенно разное время. Изменение мощности нефтенасыщенного пласта после начала добычи привело к изменению сейсмотрасс по амплитудам  $\delta A$  и временным сдвигам  $\delta t$ . По этим изменениям, относимые к новым сейсмическим атрибутам делаются заключения о современном состоянии нефтенасыщенности продуктивного участка исследуемого пласта. Разностные данные амплитуд и времен, на разрезах и планах в совокупности с данными ГИС позволяют контролировать оценивать оставшиеся запасы углеводородов, следить за изменением во времени контуров нефтегазонасыщенности в сравнении с исходными сведениями. Пример регистрации изменения контура нефтенасыщенности со временем приведен на рис. 2.6.

#### **2.4. Сейсмические оценки изменения свойств резервуаров в период их разработки**

В настоящее время применение сейсморазведки не ограничивается поисково – разведочными работами. Широко используется сейсмическая крупномасштабная съемка на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях. Высокая разрешающая способность современных технологий позволяет фиксировать изменения свойств изучаемых объектов, связанных с извлечением углеводородов. Успехи сейсмического мониторинга резервуаров нефти и газа позволил ввести в обращение термин 4D сейсморазведка, в котором подчеркивается использование четвертого измерения, каким является календарное время.

Передвижение флюидов в резервуаре в процессе эксплуатации приводит к изменению упругих свойств и плотности пород, связанных с замещением одних флюидов другими. Со временем изменяются в пространстве положения газо-нефтяного водо – нефтяного контактов внутри резервуаров. Это приводит к изменению распределения акустических свойств пород, что позволяет зафиксировать эти эффекты сейсморазведкой и использовать при изучении состояния углеводородосодержащих толщ.

Принцип использования измерений 4D сейсморазведки демонстрация на уровне нефтяного пласта, зарегистрированные при одном положении системы наблюдений, но в существенно разное время. Изменение мощности нефтенасыщенного пласта после начала добычи привело к изменению сейсмотрасс по амплитудам  $\delta A$  и временным сдвигам  $\delta t$ . По этим изменениям, относимые к новым сейсмическим атрибутам делаются заключения о современном состоянии нефтенасыщенности продуктивного участка исследуемого пласта. Разностные данные амплитуд и времен, на разрезах и планах в совокупности с данными ГИС позволяют контролировать оценивать оставшиеся запасы углеводородов, следить за изменением во времени контуров нефтегазонасыщенности в сравнении с исходными сведениями. Пример регистрации изменения контура нефтенасыщенности со временем приведен на рис. 2.6.

### **3. Использование данных ГИС при формировании геолого-геофизической модели залежи нефти и газа**

#### **3.1. Данные ГИС по отдельным скважинам**

Для построения геолого-геофизической модели залежи нефти и газа используют результаты интерпретации данных ГИС по скважинам площади, включающей контур залежи. Необходимо иметь геологические колонки с выделением заведомо глинистых пород (высокие значения на диаграммах ГК, ПС, электропроводности). Обычно легко диагностируются плотные малопористые породы типа карбонатов, плотных песчаников (высокие величины плотности по ГК, УЭС, нейтронных свойств, низкие – естественной радиоактивности, интервального времени). Особый интерес представляет выделение коллекторов, для которых должны быть определены их фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС), характер и степень насыщения флюидами.

Выделение коллекторов производится по следующим признакам:

- наличие глинистой корочки (по уменьшению диаметра скважины) на кривой кавернометрии;

- существование радиального градиента сопротивлений, измеренного методами с разной глубиной исследования зондов (МКЗ, МБК, стандартные ПЗ и ГЗ, БК, ВИКИЗ или БКЗ, ИК);
- проявления аномалий, характерных для пористых, малоглинистых и проницаемых пород, на диаграммах методов ПС, ГК, НК, АК, ЯМК.

При этом могут быть использованы установленные по изучению керн и испытаний скважин и на основе опыта измерений в скважинах предельные граничные значения, определяемых при ГИС параметров для разделения горных пород на «коллектор – неколлектор» также, как это выполняется для разделения по характеру насыщения (см. рис. 3.1). Как правило, применяют несколько количественных критериев.

Для характеристики горных пород с признаками коллекторов определяют коэффициенты общей пористости ( $K_{п}$ ), эффективной пористости ( $K_{п\text{эфф}}$ ), проницаемости ( $K_{пр}$ ), по значениям которых принимается решение об отнесении горной породы к классу «коллектор» или «неколлектор».

Величины  $K_{п}$  определяют обычно несколькими способами, контролируемыми и уточняющими друг друга. Например, по измерениям плотности пород ( $\sigma$ ) в терригенном разрезе с преобладанием в скелете кварца и наличии глинистых минералов близких по плотности кварцу ( $\sigma=2,65\text{ г/см}^3$ )  $K_{п}$  можно вычислить по формуле

$$(3.1) \quad K_{п}(\%) = 160,6 - 60,6\sigma(\text{г/см}^3).$$

Пористость чистых песчаников отождествляют с пористостью матрицы ( $K_{пм}$ ) и определяют её по скважинным измерениям или по статистическим зависимостям от глубины  $H$ . Так для месторождений нефти и газа при терригенном разрезе в З.Сибири Д. А. Кожевников установил зависимость  $K_{пм}(\%) = 42,5 - 7,5H$  (км).

Эффективная пористость зависит от доли остаточной воды в поровом пространстве коллектора:

$$(3.2) \quad K_{п\text{эфф}} = K_{п}(1 - K_{во}).$$

Коэффициент остаточной водонасыщенности обычно определяют по статистическим зависимостям  $K_{во}(K_{п})$ , установленным для конкретной продуктивной залежи по результатам лабораторных измерений керна. Согласно исследованиям В. Н. Боганика для относительно неглубоко залегающих коллекторов З. Сибири справедливо

$$K_{во}=0,084 / K_{п (д.е.)}-0.18 \quad (3.3)$$

Установлено (Д. А. Кожевников), что остаточная водонасыщенность обладает свойством инвариантности, и при известной величине петрофизического инварианта  $\psi$  рекомендована модель, учитывающая глубину горной породы,

$$K_{во}=(\mu_0/K_{пм})^\psi, \quad (3.4)$$

где  $\mu_0$  – доля остаточной воды, связанной со скелетом коллектора. Для условий З.Сибири можно принять  $\psi=1-1,43(K_{пм}- K_{п})/K_{пм}$  (Кожевников Д. А., Сапожников В. М.). Тогда, например, для глубины 3 км, где  $K_{пм} \approx 0,2$  при  $K_{п}=0,15$  и для  $\mu_0=0,05$  (типичная величина) по (3.4) получим  $K_{во}=0,41$ . По опыту практики это значение ближе к реальной характеристике, чем значение 0,38, получаемое по (3.3).

Для подавляющего большинства коллекторов по Д. А. Кожевникову и К. В. Коваленко зависимость коэффициента абсолютной проницаемости  $K_{пр}$  (в  $\text{фм}^2$ ) от  $K_{п \text{эф}}$  (в %) в полулогарифмическом масштабе линейна:

$$\lg K_{пр} = 0,22 K_{п \text{эф}} - 1. \quad (3.5)$$

Величина  $K_{пр}$  используется для характеристики фильтрационных свойств коллектора и, как будет показано ниже, при оценке средних размеров зёрен скелета.

Оценка характера насыщения коллекторов включает их разделение на водоносные и нефтегазосодержащие. Разграничение проводят по значениям УЭС, измеренного зондами с большим радиусом исследования (БК, ИК, ВИКИЗ). Для этого строят графики накопленной частоты проявления нефтегазонасыщения и водонасыщения при конкретных значениях УЭС (для водонасыщенных коллекторов накопления частоты проводят в направлении уменьшения УЭС). По накопленным частотам определяют граничные значения или

интервалы УЭС, выше которых коллектор с большой вероятностью может считаться нефтегазосодержащим, а при меньших значениях – водоносным. На рис. 3.1 значение 8 Ом м, при котором отмечается пересечение графиков накопленной частоты, может быть принят граничным для разделения коллекторов на водоносные (меньше 8 Ом м) и нефтенасыщенные. С учётом треугольника ошибок надёжность выделения нефтенасыщенных пластов 97%. При сопротивлении ниже 6 Ом м коллектор заведомо водоносный.

При сложной структуре коллектора с прослоями глинистых или плотных пород определяется эффективная толщина нефтегазонасыщения как разность между общей толщиной коллектора и суммарной величиной непроницаемых прослоев. Для вычисления коэффициента нефтегазонасыщения  $K_{нг}$  необходимо знать параметр насыщения  $P_n$ , показывающий во сколько раз УЭС продуктивного пласта  $\rho_{нг}$  больше УЭС водоносного пласта  $\rho_{вп}$  такой же пористости. Тогда в общем случае по упрощённой формуле

$$(3.1) \quad K_{нг} = 1 - \frac{1}{\sqrt{P_n}},$$

однако при наличии дополнительных исследований этот алгоритм может быть уточнён.

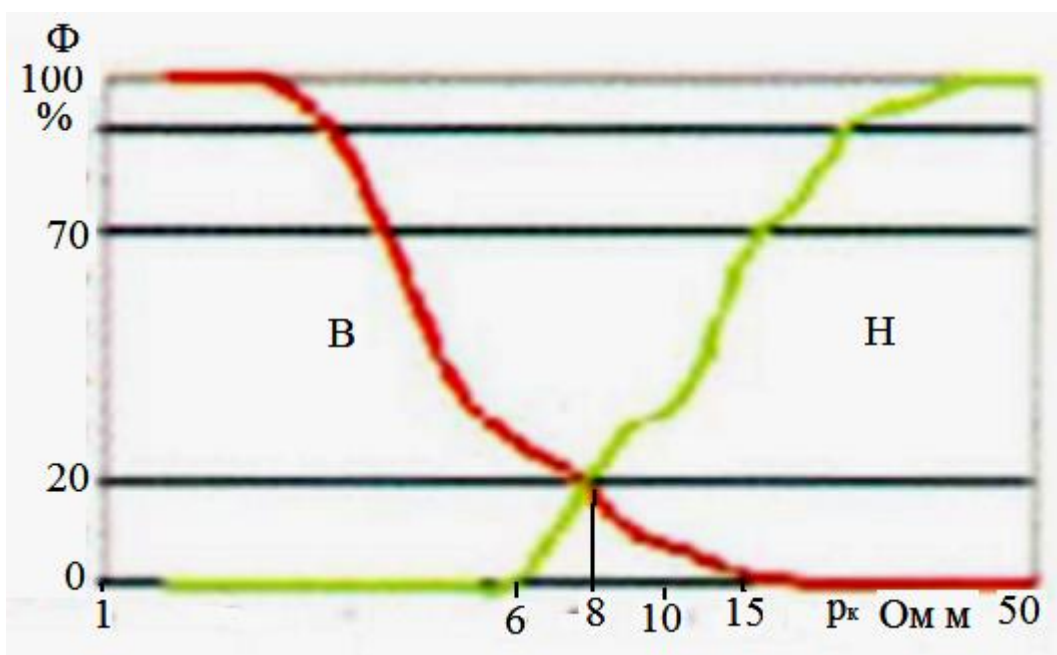


Рис. 3.1. Пример построения графиков интегральных функций распределения ( $\Phi$ ) параметра сопротивления, характерного для водоносных и нефтенасыщенных пластов, по которым осуществляется разделение их на эти классы; основание треугольника ошибок 6 – 15 Ом м

Разделение газонасыщенных и нефтенасыщенных интервалов коллектора производят по признакам индивидуальным для каждой залежи. Часто первые характеризуются более высокими сопротивлениями, специфическими аномалиями газового каротажа, диагностизируются по данным исследования керна, результатов испытаний. Правильность характера флюидальной насыщенности продуктивных коллекторов подтверждают по данным применения НК в обсаженных скважинах. На диаграммах НК газонасыщенные коллекторы имеют заметно большие значения по сравнению с нефтенасыщенными коллекторами. Те же в свою очередь отличаются более высокими показаниями от водоносных коллекторов. В открытом же стволе разграничить коллекторы с одинаковой пористой, но насыщенными различными флюидами по данным ГИС удается по данным ИК при мощности слоя больше 4 м. Маломощные пласты классифицируются неоднозначно. Малоизвестный способ рассмотрен в разделе 6.

Результаты определения положения на сейсмических профилях опорных отражающих горизонтов позволяют строить структурные карты для этих горизонтов, которые могут быть более детальными, чем структурные карты, построенные по данным ГИС. Первоочередной интерес представляют структурные карты кровли и подошвы продуктивных отложений, а также карты их мощностей. Полученные карты используют для корректировки карт данных ГИС. Пример построения по опорному горизонту структурной карты, отражающей сводовый характер изучаемого нефтегазового месторождения, показан на рис. 2.6.

### **3.2. Подготовка данных ГИС для интерпретации сейсморазведки**

По скважинам, находящимся на сейсмических профилях и в первую очередь по тем из них, в которых выполнено ВСП, проводят дополнительную интерпретацию данных ГИС. Цель – уточнение привязки сейсмических отражающих горизонтов к геологическому

разрезу, привязка временных разрезов к продуктивным горизонтам. По этим скважинам должны быть выполнены измерения методами АК и ГГК. Используемые при этом диаграммы плотности ( $\sigma$ ) и интервального времени ( $\Delta T$ ) должны охарактеризовать не только пласты – коллекторы, но и другие слои с контрастным изменением физических свойств, которые рассматриваются как опорные горизонты. К ним относятся прослой плотных пород, глины и др. Обработка кривых заключается в расчленении разреза на прослой, отличающиеся по показаниям друг от друга не менее чем на 20% и по толщине должны быть не менее, чем 5 – 6 м. Могут быть выделены и прослой меньшей толщины (1- 2 м), если они резко отличаются по показаниям от окружающих пород и встречены в нескольких скважинах. По кривым  $\Delta T$  определяют пластовую скорость  $V_{пл}$ .

По результатам обработки диаграмм строятся графики сейсмического импеданса ( $G=\sigma \cdot V_{пл}$ ), коэффициента отражения  $R$  и синтетическая трасса (см. рис. 2.1 и 2.2). При наличии данных ВСП для скважины приводится график средней скорости  $V$ . Значения  $V$  используются для определения глубины залегания отражающих горизонтов на временных сейсмических разрезах по формулам (2.2) или (2.3). Обычно рядом с шкалой времени прихода отраженных волн в мс. строится шкала глубин в м. Контроль за соответствием шкал производится с ориентировкой на синтетические трассы по скважинам.

Это позволяет использовать глубинные сейсмические разрезы при построении геологических разрезов по данным ГИС.

### 3.3 Корреляция разрезов скважин

Корреляция разрезов скважин является основным методом изучения внутреннего строения недр. На месторождениях в первую очередь представляет интерес выделение и прослеживание в геологической среде пластов-коллекторов и непроницаемых слоев, играющих роль флюидозкранов, и вклинивавшихся между проницаемыми породами.

Корреляция делится на литологическую и стратиграфическую, которые взаимосвязаны. Уже на ранней стадии разведки формируются типовой или сводный геолого-геофизические разрезы. При корреляции обычно опираются на типовой (осреднённый) разрез, на

котором отражена последовательность геологических напластований с литологическими и геофизическими характеристиками, а также со стратиграфической привязкой толщ однородного или многопластового строения. В качестве типового разреза может быть принят разрез по одной из скважин, в которой изучаемый разрез геологической среды представлен наиболее полно.

Корреляция разрезов целесообразно начинать с построения профильных геолого-геофизических разрезов, на которых имеется ряд скважин, проведены полевая и скважинная сейсморазведка. Для таких профилей, и в первую очередь проложенных вкрест простирания структуры, строят геоакустические модели по отдельным скважинам и для каждого профиля. Путём сопоставления синтетических и измеренных сейсмотрасс, а также определения по данным ВСП шкалы глубин для временных разрезов, появляется возможность использования последних в качестве основы при корреляции скважин.

На сейсмических профильных разрезах в первую очередь выделяются и коррелируются отражающие горизонты - реперы, которые наиболее чётко выделяются на сеймотрассах, выдержаны по профилю и квалифицируются по геологическим признакам. Откоррелированные в вертикальной плоскости горизонты - реперы рассматриваются как костяк геолого – геофизических разрезов. Обычно сейсмические репера являются границами и для детальных разрезов, которые строятся по данным ГИС. Сейсмогеологические разрезы строят в одинаковых или разных масштабах по глубине и горизонтали.

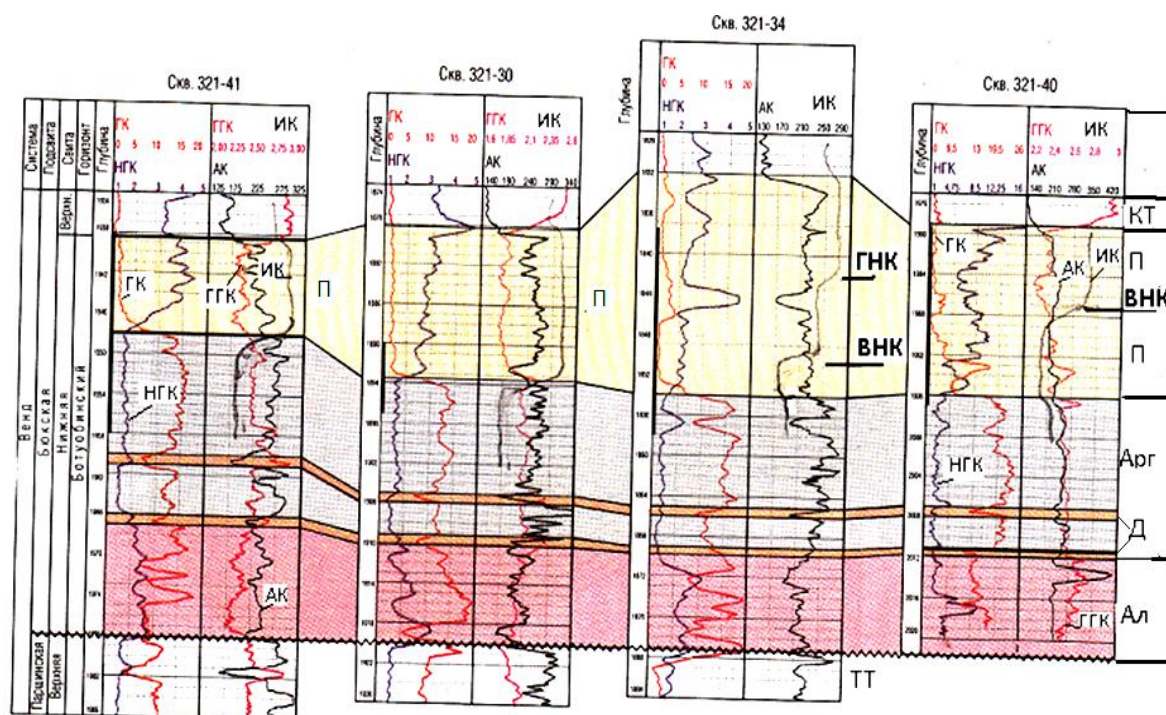


Рис. 3.2. Пример корреляционной схемы по разведочному профилю нефтегазового месторождения Породы разреза: КТ –карбонатная толща; П –песчаники; Арг – аргиллиты; Д – доломиты; Ал – алевролиты ; ТТ – терригенная толща

Для детальной литологической корреляции разрезов скважин применяют методы ГИС, наиболее чувствительные к изменению состава горных пород, или же для этой цели используют уже построенные литологические колонки. На схемах детальной корреляции в последовательности, соответствующей расположению скважин, размещают диаграммы ГИС, выравнивая их точно и приблизительно по реперным границам. Пример представления схемы корреляции по скважинам нефтегазового месторождения приведён на рис. 3.2.

Вначале корреляция осуществляется по реперам. Как и на сейсмических разрезах наиболее чётко выделяются границы между глинистыми и плотными (карбонаты, плотные песчаники, соли) породами. Контроль осуществляется по сейсмогеологическим разрезам, но с учётом возможных небольших отклонений в глубинах. Затем соединяются границы между однотипными по геофизическим признакам пластами и прослоями, которые могут иметь переменную толщину.

На участках выклинивания пластов – коллекторов, связанных с появлением непроницаемых пород, необходимо определять не

только положение границ замещения и выклинивания пород коллекторов, но и устанавливать природу выклинивания. Типичные модели замещения пород – коллекторов приведены на рис. 3.3.

Обычно выделяется два типа границ литологического экранирования:

- потеря пластом коллекторских свойств при сохранении его толщины, которое может происходить на очень небольших расстояниях, и их трудно прогнозировать без использования дополнительных данных.

- постепенное уменьшение толщины пласта до нуля по различным геологическим причинам – стратиграфическое срезание, тектоническое нарушение и др.

Основными источниками информации для определения геологической природы и положения границ замещения (выклинивания) являются данные бурения, ГИС, детальной сейсморазведки и др. Подсказку могут дать результаты корреляции по соседним профилям. Типичные модели замещения пород – коллекторов приведены на рис. 3.3.

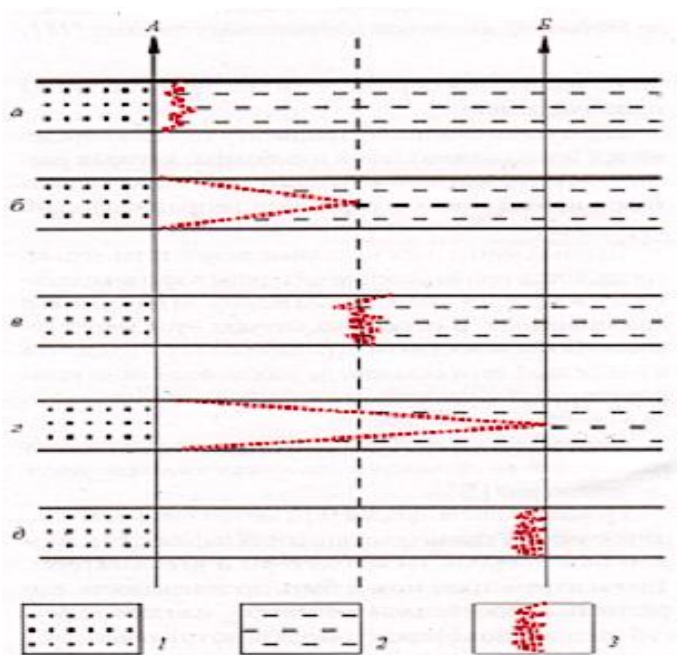


Рис. 3.3. Модели замещения коллекторов в межскважинном пространстве скважин А (скрышей коллектор) и В (пробуренной в зоне отсутствия коллектора)  
1 – коллектор; 2 – неколлектор; 3 – зона замещения пород - коллекторов неколлекторами [5]

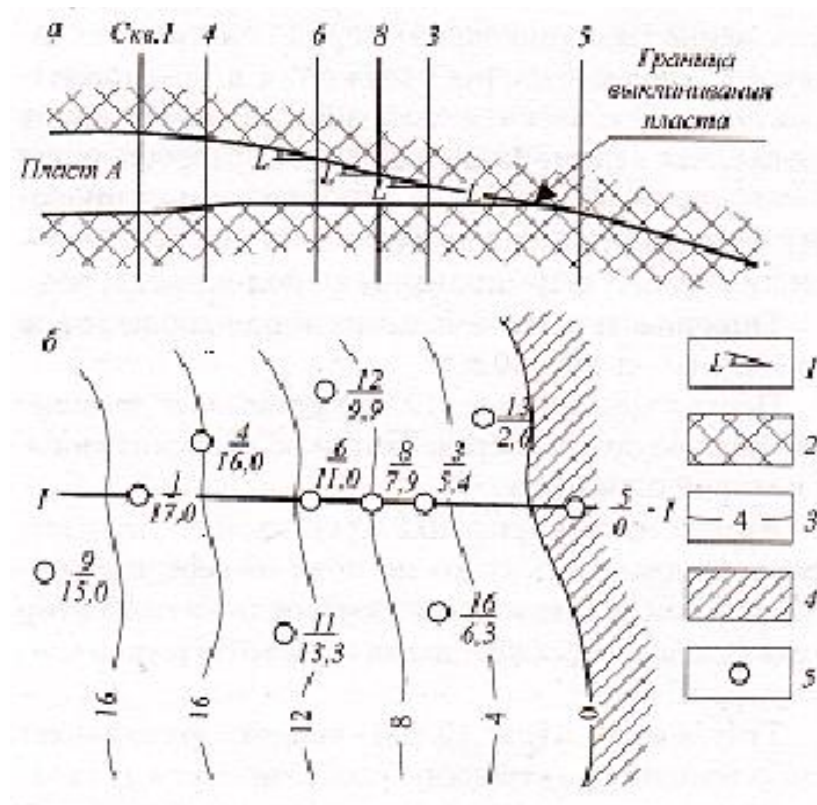
Замещение коллектора может происходить непосредственно вблизи скважины, в которой он вскрыт (рис. 3.3 а) или уменьшение толщины коллектора происходит на середине расстояния между

скважинами А и Б (рис. 3.3 б). Возможен случай, когда коллектор сохраняет свою толщину до середины расстояния между скважинами и затем резко она резко уменьшается до нуля (рис. 3.3 в).

На следующих моделях коллектор плавно или резко выклинивается к скважине, в которой он отсутствует (рис. 3.3 г и д). Определенную помощь в выборе модели выклинивания коллектора может оказать сейсмогеологический разрез.

Одним из методов определения линии выклинивания является метод экстраполяции градиента изменения эффективной толщины пласта на участке предполагаемого выклинивания. Для этого по данным замеров в скважинах толщин исследуемого пласта строится карта толщин по площади и определяется градиент изменения толщины пласта. По установленному градиенту изменения толщин определяется положение нулевой изопакиты, которая рассматривается как линия полного замещения коллектора продуктивного горизонта непроницаемыми породами (рис. 3.4).

Рис. 3.4. Пример определения границ выклинивания пласта по градиенту изменения эффективных толщин



Цифры у скважин в м.:числитель – градиент изменения толщины, знаменатель – толщина коллектора [5]

Несогласное залегание свидетельствует о том, что последовательность напластования нарушена в результате перерывов в осадконакоплении, размывов, тектонических нарушений.

Корреляция разрезов скважин может осуществляться попарно между ближайшими скважинами, находящимися на разных разведочных профилях, по принципу создания триангуляционной сети. На плане показываются скважины, в которых получены пересечения коллектора и рёбрами триангуляции обозначается связь между этими пересечениями. Триангуляционная сеть объединяет скважины пересечения коллектора единой залежи (рис. 3.5).

При большом количестве скважин и наличии нескольких продуктивных пластов с разным временем их формирования корреляция разрезов скважин может осуществляться в автоматическом режиме с применением специальных программ.

В качестве примера на рис. 3.2 приведена корреляционная схема по профилю скважин на нефтегазовом месторождении, обнаруженным в верхневендских песчаных отложениях. По совокупности диаграмм ГИС (ГК, НК, ГГК и АК) в изучаемом разрезе чётко выделяются несколько толщ, сформированных в разных условиях и времени, и квалифицированных как горизонты. Приводимые на корреляционной схеме диаграммы ИК связаны с влиянием не только литологии, но и с характером насыщения коллекторов, поэтому они использованы в корреляционной схеме для увязки пород — неколлекторов, а в дальнейшем — для определения характера и степени флюидонасыщения.

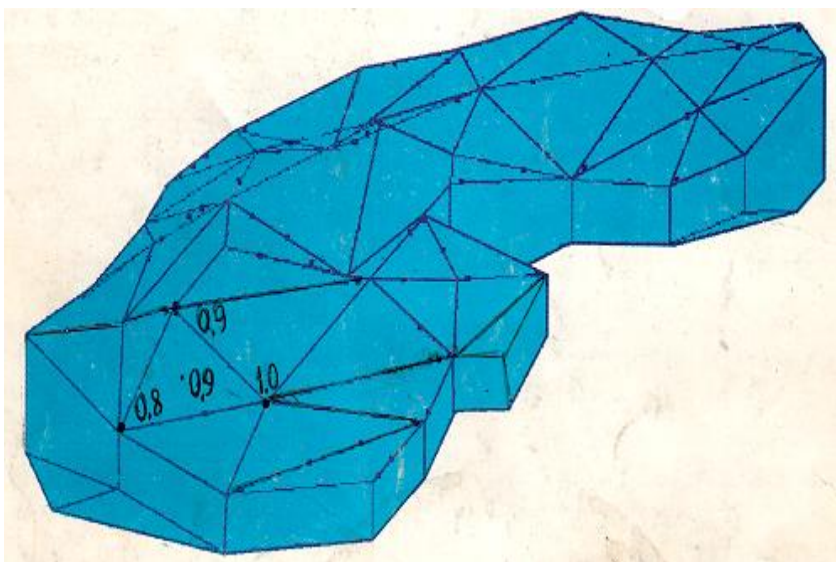


Рис. 3.5. Пример представления результатов попарной корреляции скважин, имеющих пересечения единой залежи, в виде триангуляционной сети с некоторыми значениями показателя линейного нефтегазонасыщения для точек в узлах сетки (скважины) и его средние значения для ячейки сетки

Центральное место занимает стратиграфический горизонт, получивший название Ботубинский. Сверху он перекрыт плотными, малоглинистыми, низкопористыми, высокоомными и высокоскоростными отложениями с характерными признаками карбонатов.

Карбонатная толща является покрывкой для толщи песчаников в верхах Ботубинского горизонта, характеризующихся по сравнению с породами покрывки по диаграммам НГК более высокой пористостью и меньшей плотностью (АК, ГГК). На диаграммах ИК карбонатная толща отличается от песчаников пониженной проводимостью. Подстилают толщу песчаников непроницаемые аргиллиты, имеющие повышенную радиоактивность (ГК). Корреляции разрезов скважин помогает наличие в аргиллитах маломощных прослоев доломитов, играющих роль реперов. Особенно чётко они заметны на диаграммах АК.

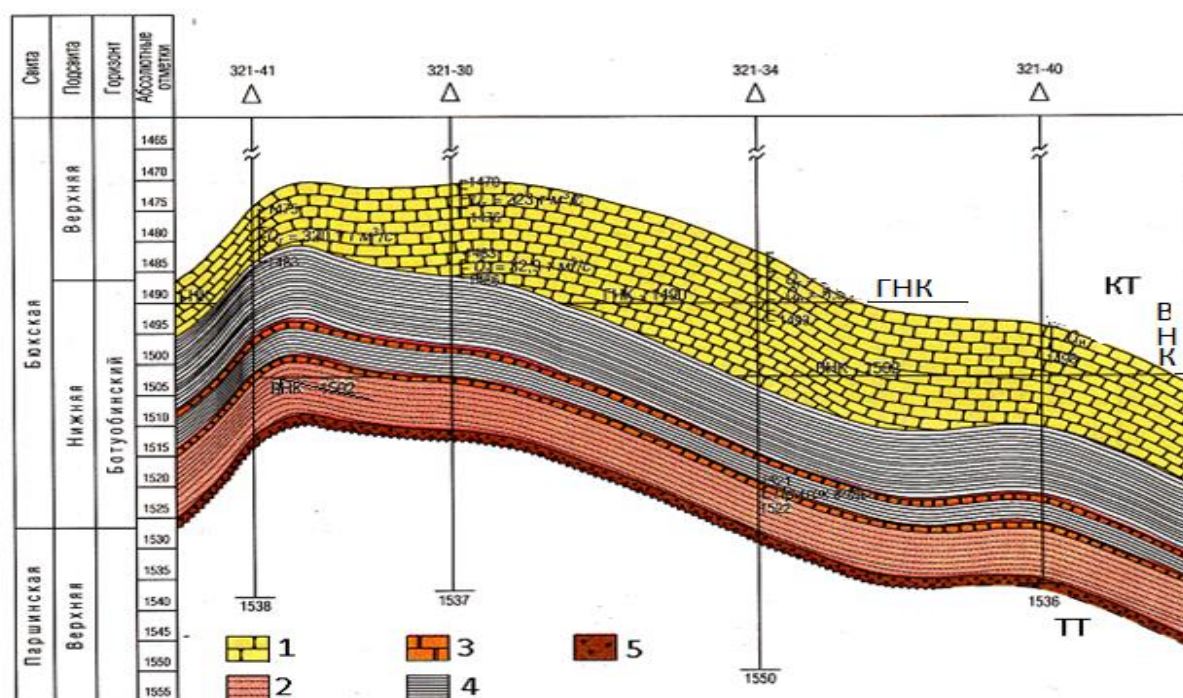


Рис.3.6. Геологический разрез, построенный с использованием корреляционной схемы (см. рис. 3.2)  
 Породы: 1- песчаники; 2 – алевролиты; 3 – доломиты; 4 – аргиллиты; 5 - брекчия; КТ – карбонатная толща; ТТ – терригенная толща ( А. Е. Рыжов и др.)

Толща песчаников по емкостным свойствам занимает промежуточное положение между карбонатной покрывкой и подстилающими аргиллитами. Наиболее четко это заметно по диаграммам НГК, ГГК и АК. Фиксирующие в основании Ботубинского горизонта алевролиты залегают с размывом на преимущественно глинистой толще. О существовании размыва свидетельствует маломощный слой брекчии с аномальными свойствами, проявившимся особенно

чётко на диаграммах ГИС в скв. 321-30. Признаки брекчирования проявляются локальными положительными аномалиями естественной радиоактивности в верхах терригенной толщи в низах рассматриваемого разреза.

Полученная по результатам корреляции разрезов скважин профильный геологический разрез может рассматриваться как статическая геологическая модель изучаемой структуры (рис. 3.2). Она включает в себя и модель залежи нефти и газа поскольку на ней отражается распределение продуктивных коллекторов и экранирующих пород. В результате анализа обобщённых геолого-геофизических данных удаётся восстановить историю формирования природного резервуара с образованием ловушки для накопления углеводородов и образования продуктивной залежи.

Основание структуры месторождения сложено переслаивающимися алевролитами и аргиллитами, образовавшими терригенную толщу (ТТ), сформировавшуюся в морских условиях. В результате регрессии моря произошло его обмеление и рассматриваемый участок оказался в прибрежной зоне. Благодаря этому за счёт сноса с берега укрупнённого обломочного материала на мелководье сформировались отложения, превратившиеся впоследствии в песчаники с повышенными пористостью и проницаемостью, имеющими признаки коллекторов.

В результате очередной резкой трансгрессии моря песчаные отложения оказались отодвинутыми от берега и над ними начали накапливаться известняки. Пористые образования оказались запечатанными плотной и практически непроницаемой карбонатной толщей (КТ), а снизу их ограничили также непроницаемые глинистые отложения, превратившиеся впоследствии в аргиллиты. В результате образовалась ловушка, благодаря наличию которой сюда по субвертикальным дистрикциям просочились углеводороды и здесь сформировалась нефтегазовая залежь. По данным метода ИК удаётся выделить в месторождении газовую шапку (по интервалам с низкой электропроводностью), нефтенасыщенный слой и ту часть песчаников, где сохранилось водонасыщение (по интервалам с повышенной электропроводностью). Для расчленения коллектора на интервалы, насыщенные различными флюидами, с учётом совокупности данных (газовый каротаж, исследования керна и шлама, испытания в скважинах, фиксация притоков) были предварительно опреде-

лены граничные значения сопротивления для ГНК и ВНК, подобно тому, как это показано на рис. 3.1.

## **4. Палеотектонический, седиментационный и фациальный анализ**

### **4.1. Палеотектонический анализ**

Палеотектонический анализ выполняется с целью оценки влияния тектонических процессов в период седиментации и позднее на историю формирования природных резервуаров, включающих залежи нефти и газа. Получаемые результаты углубляют представления о седиментационных циклах изучаемых отложений, что способствует построению геолого-геофизической модели месторождения.

Палеотектонический анализ состоит в применении палеоструктурных карт и палеопрофилей, методика построения которых основана на установлении толщин стратиграфических пачек пород в соответствующие периоды их формирования. По изменениям толщин отдельных горизонтов судят об амплитудах тектонических движений. Считается, что при подъёме горизонта происходит уменьшение его мощности и подъём кровли нижележащего горизонта. При опускании мощность горизонта увеличивается.

В комплексе осадочных пород, принимающих участие в геологическом строении складки, выбираются реперы, чётко прослеживающиеся в пределах изученной площади. Каждый репер ввиду ограниченности исследуемого участка (локальные структуры) может быть принят за нулевую горизонтальную плоскость, от которой строятся палеоструктурные карты поверхности горизонта, формирование структуры которого является объектом исследования. Подобным же образом строятся палеопрофили, отражающие распределение мощности от выбранного репера до поверхности подошвы исследуемого горизонта. Такой подход позволяет отвлечься от совре-

менного строения разреза и представить конфигурацию исследуемой толщи в период завершения её формирования.

Палеотектоническая карта фактически представляет собой карту толщин стратиграфического горизонта. Такие карты наиболее наглядны и информативны для решения задач палеотектонического анализа. Они позволяют рассмотреть информацию о конседиментационном прогибании дна осадочного бассейна в различные периоды и реконструировать этапы развития потенциальных ловушек углеводородов с прогнозом характера их насыщения.

Более наглядно оценить характер тектонических движений в заданных направлениях можно по палеотектоническим разрезам. Они последовательно строятся от кровли выровненного (в виде горизонтальной линии) стратиграфического горизонта путём откладывания толщины этого горизонта вниз. В результате получают набор палеотектонических профилей.

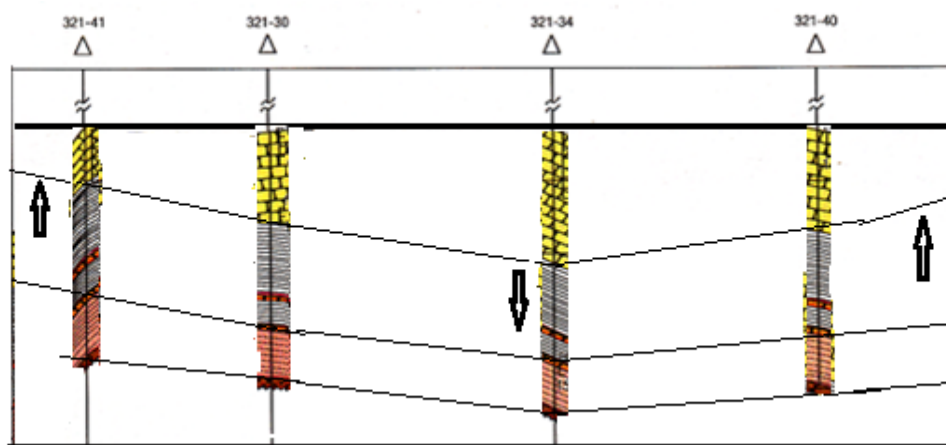


Рис. 4.1 Пример палеореконструированного горизонта песчаной толщи из разреза рис. 3.6

В качестве примера на рис. 4.1 приводится палеотектонический профиль для продуктивной толщи песчаников нефтегазового месторождения, современный разрез для которого показан на рис. 3.6. На корреляционной схеме месторождения, представленной с выравниванием по кровле нижней терригенной толщи, и палеотектоническом профиле толщи песчаников видно, что в начальный период формирования низов ботубинского горизонта условия седиментогенеза на изучаемой территории были одинаковы. На это указывают одинаковые мощности глинистых пород по всем скважинам разведочного профиля (рис. 3.2 и 4.1). Когда же стали накапливаться собственно ботубинские песчаники физико-химические условия осадконакопления претерпели существенные изменения. Следствием этих изменений в первую очередь стало то, что в западном направ-

лении происходило поднятие дна бассейна с формированием в этом направлении береговой линии. Одновременно происходило погружение дна в районе центральной части рассматриваемого профиля с увеличением толщины песчаной толщи.

Помимо наглядного графического способа палеотектонического анализа применяют графо-аналитическую обработку значений толщин. Модели палеотектонических процессов строятся на основе математической статистики. При этом устанавливают графики зависимости абсолютных глубин базисной поверхности от толщины изучаемого стратиграфического интервала с помощью линейного уравнения зависимости толщины стратиграфического интервала от абсолютной отметки глубины залегания базисного горизонта. Определяемые при этом коэффициенты уравнения имеют определённый геологический смысл.

## **4.2. Седиментационный анализ**

Разрезы, сложенные осадочными породами представляют собой чередование пластов различного литологического состава, возраст которых последовательно уменьшается снизу вверх. При согласном залегании пластов их чередование представляет собой закономерную последовательность, которая в разрезах вскрытых разными скважинами, одинакова. При несогласном залегании пластов последовательность напластования нарушена в результате перерывов в осадконакоплении, размывов, тектонических нарушений. Это проявляется в постепенном изменении толщины отложений, в выпадении или повторении в разрезах соседних скважин пластов или больших интервалов разреза. Условия седиментации устанавливаются при стратиграфической корреляции разрезов, заключающейся в выделении и объединении разновозрастных слоёв иногда даже разного литологического состава. Такая картина наблюдается в результате латерального изменения фаций.

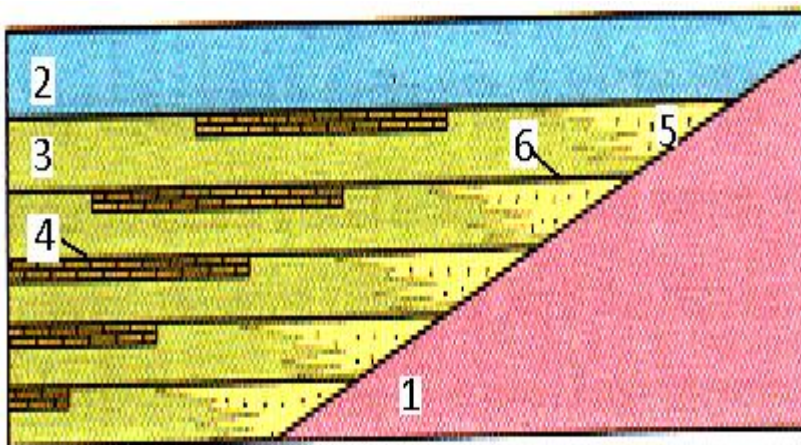
Седиментационный анализ предполагает разделение осадочных отложений на седиментационные циклы, часто именуемые как толщи непрерывного наращивания, во времени протекания однонаправленного геологического процесса. Поскольку при таком процессе во многих случаях энергия среды осадконакопления возрастает (регрессивный характер разреза) либо убывает (трангрессивный характер разреза), седиментационные циклы проявляются в геологиче-

ском разрезе в виде определённой последовательности смены литотипов (парагенетические ряды). Смена литотипов свидетельствует о смене фациальной обстановки осадконакопления. Но поскольку различные литотипы имеют разные физические свойства, существует возможность выделять седиментационные циклы по данным ГИС, применяя при этом знания о теоретически существующих геологических структурах.

Установлено, что при применении полного комплекса методов ГИС можно выделять до 30 разновидностей осадочных пород, что позволяет с одной стороны построить детальный разрез изучаемого интервала, а с другой стороны обосновать возможность объединения нескольких литотипов в единый седиментационный цикл. Непрерывная информация о процессе осадконакопления, устанавливаемая по диаграммам каротажа, даёт возможность проследить за изменением литологической характеристики объекта и доказать, что эти изменения происходили в период единого седиментационного цикла.

Процесс расчленения разрезов скважин начинается с выделения устойчивых стратиграфических границ. Их определяют по реперам, роль которых играют выдержанные по площади и толщине пласты, литологически заметно отличающиеся от выше и ниже лежащих отложений. Если пласт имеет характерную, ярко выраженную на диаграммах ГИС поверхность, её называют реперной границей. Например, в рассмотренном выше нефтегазовом месторождении верхней реперной границей для стратиграфической ботубинской толщи с продуктивным пластом песчаников является подошва горизонта карбонатов, а нижнюю реперную границу можно отождествлять с размытой кровлей преимущественно глинистой терригенной толщи, начинающейся с прослоя брекчий. Обе эти реперные границы чётко фиксируются резкими скачками физических свойств на диаграммах всех методов ГИС (см. рис. 3. 2 и 3. 6).

Внутри выделяемых стратиграфических интервалов, как правило, существуют нерегулярные границы между литологически раз-



личными отложениями. Для обоснования корреляции нерегулярных границ необходимо установить характер цикличности

и закономерности в наращивании разреза, причиной которого являются конседиментационные тектонические процессы.

Рис. 4.2 Пример модели разреза с серией трансгрессивных седиментационных циклов

1 – континентальный склон; 2 – уровень моря; 3 – глины; 4 – карбонаты; 5 – песчаники; 6 – стратиграфические границы – уровни стояния моря [2]

Закономерность изменения толщин и связанное с ней вероятное положение нерегулярных стратиграфических границ позволяет установить палеотектонический анализ. Так для разреза на рис.3. 6 и 4. 1 нерегулярная граница может быть выделена между песчаниками и аргиллитами в пределах ботубинского горизонта. Проявление этой границы вызвано, как показано выше, сменой условий осадконакопления.

Вследствие устойчивого процесса однонаправленного процесса трансгрессии или регрессии моря может быть выделено большое количество однотипных седиментационных циклов. Примером может служить модель серии трансгрессивных седиментационных циклов, представленная на рис. 4.2.

Выделение седиментационных циклов имеет принципиально важное значение в процессе построения геологической модели месторождения и особенно модели объекта подсчёта запасов и его разработки.

### 4.3 Фациальный анализ

При фациальном анализе решается задача по выяснению физико – географической обстановки формирования отложений, включающих продуктивные коллекторы. Единый принцип фациального анализа основан на том, что отложения каждой фации формировались в условиях определенных палеогидродинамических режимов (уровней). Это даёт возможность определить для каждой фации свою седиментационную модель, отражающую свойственную только данной фации последовательную смену палеогидродинамических уровней во времени.

Информацию о фациальной обстановке среды осадконакопления получают методами: геологическими, сейсмо - стратиграфическими, промыслово - геофизическими. Вклад фациальной интерпретации данных ГИС в общий комплекс этих методов может быть весьма

существенным, несмотря на то, что многие характеристики фациальной обстановки получаются косвенным путём.

Прежде всего это касается определения характерных литотипов, по присутствию которых в разрезе делается заключение об обстановке накопления осадочных толщ. В разделе 1 показано, что разделяются фации континентальных, прибрежно-морских и глубоководно-морских отложений. Так преобладание в изучаемой толще карбонатов свидетельствует о морской обстановке осадконакопления. При терригенном разрезе с прослоями известняков делается вывод о прибрежно - морской фации осадков. Преобладание песчано-аллювиальных отложений характерно для фаций континента.

Разнятся литотипы, сформированные в различных условиях и по ряду свойств. Например, в континентальных отложениях глины значительно более высокоомны, чем это характерно для морских глин. При анализе содержания естественных радиоактивных элементов (спектрометрический вариант ГК) установлено, что в континентальных глинах преобладает торий, а в морских - уран. Это связано с существованием фациально невыдержанных отложений, типичных для континентального и прибрежно - морского и дельтового генезиса, когда нарушается корреляция тел – коллекторов в пределах относительно небольших территорий. В таких условиях целесообразно свиты отождествлять с отдельными литологическими разностями, надёжно фиксирующие изменение климата или тектонических условий. В разрезе тогда выделяют ритмосвиты, которые образуют каркас стратиграфических схем. И хотя строение ритмосвит по площади может изменяться с выпадением отдельных составляющих, они объединяют горные породы, сформировавшиеся в близких фациальных условиях.

В качестве примера можно сослаться на рис.1.8, на котором изображены диаграммы электрометрии для разреза, отражающего действие регрессии моря с формированием группы фаций. Из него видно, что наряду с существованием стабильных условий для образования отложений в морском мелководье, выделяется группа фаций, связанных с временным отступлением моря на площади существования дельты крупной реки, то в надводных, то в подводных условиях. Это привело к образованию группы фаций, которые можно объединять в единую ритмофацию.

Детальное фациальное расчленение осадочных толщ возможно по параметрам, определяемым по данным ГИС. Например, по сред-

нему  $d_m$  (медианному) размеру зёрен, который характеризует энергию осадконакопления, и позволяет уточнить фаціальную принадлежность отложений. Предпосылки для этого имеют методы ПС и ГК, по показаниям которых (по параметру  $\alpha$ ) устанавливают зависимости для оценки  $d_m$ . Согласно исследованиям В. С. Муромцева связь между  $d_m$  (мм) и  $\alpha_{ПС}$  близка к прямой с уравнением

$$(4.1) \quad \lg d_m = 2\alpha_{ПС} - 2,4.$$

Т. С. Изотова обосновала формулу, связывающую  $d_m$  (мкм) с коэффициентами пористости  $K_{п}$  (д.е.) и проницаемости  $K_{пр}$  (мкм<sup>2</sup>):

$$(4.2) \quad d_m = A(1 - K_{п}) / (0,0556 K_{п}^3 / K_{пр})^{1/2},$$

где  $A=6$  для уплотнённых пород и  $A=12$  для коллекторов.

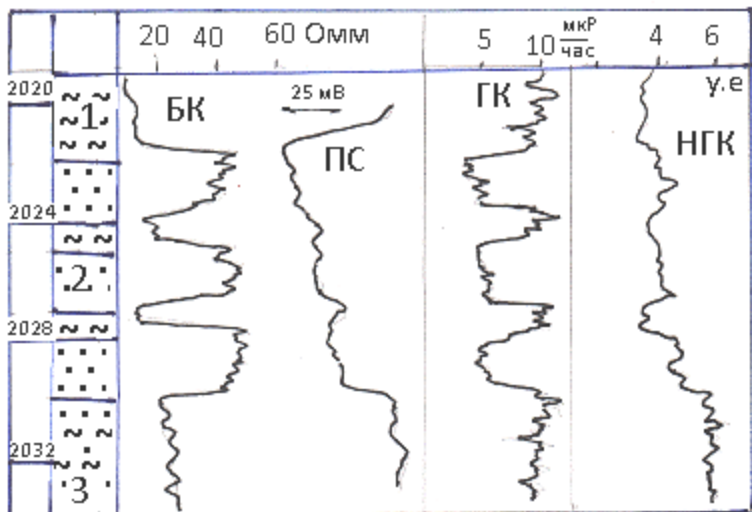
Предложен ряд способов для количественной оценки неоднородности пластов, позволяющих судить о фаціальной принадлежности горных пород и в первую очередь коллекторов. Одновременно определяются условия добычи нефти или газа из этих объектов.

Часто вычисляют коэффициент песчанистости интервалов разреза мощностью  $H$ , в котором песчаник содержит глинистые или карбонатные непроницаемые прослои с общей их толщиной  $h$

$$K_{песч} = (H-h)/H. \quad (4.3)$$

Для оценки текстуры пачки чередующихся пропластков литотипов вычисляют текстурный коэффициент  $C_T$

$$C_T = h_{ср}/n, \quad (4.4)$$



где  $h_{ср}$  – средняя толщина литотипа, а  $n$  – количество пропластков в пачке.

Рис.4.3. Пример диаграмм ГИС для неоднородного пласта - коллектора, по показаниям которых вычислены характеристики его неоднородности

Количественный анализ неоднородности пластов толщиной  $H$  с количеством  $N$  пропластков коллектора общей толщиной  $H_k$  производят с помощью коэффициента расчленённости  $K_P$

$$K_P = H_k / H \cdot N, \quad (4.5)$$

а также по вычислениям интегрированного коэффициента неоднородности пласта  $K_H$  с учётом минимальной и максимальной пористости исследуемого пласта в разрезе скважины

$$K_H = K_P \cdot \frac{K_{п \text{ макс.}}}{K_{п \text{ мин.}}} \quad (4.6)$$

Для примера на рис. 4.3 приведен фрагмент разреза с неоднородным пластом песчаников и диаграммы методов ГИС. Пласт песчаников общей мощностью 8 м содержит два прослоя глины толщиной 1 м каждый. Пористость песчаных частей пласта находится в пределах 0,2 – 0,25, т.е. они обладают коллекторскими свойствами. Вычисляя для данного пласта по приведённым выше формулам характеристики неоднородности, получим:  $K_{\text{пес}}=0,75$ ;  $C_T=0,4$ ;  $K_P=0,25$ ;  $K_H=0,25$ .

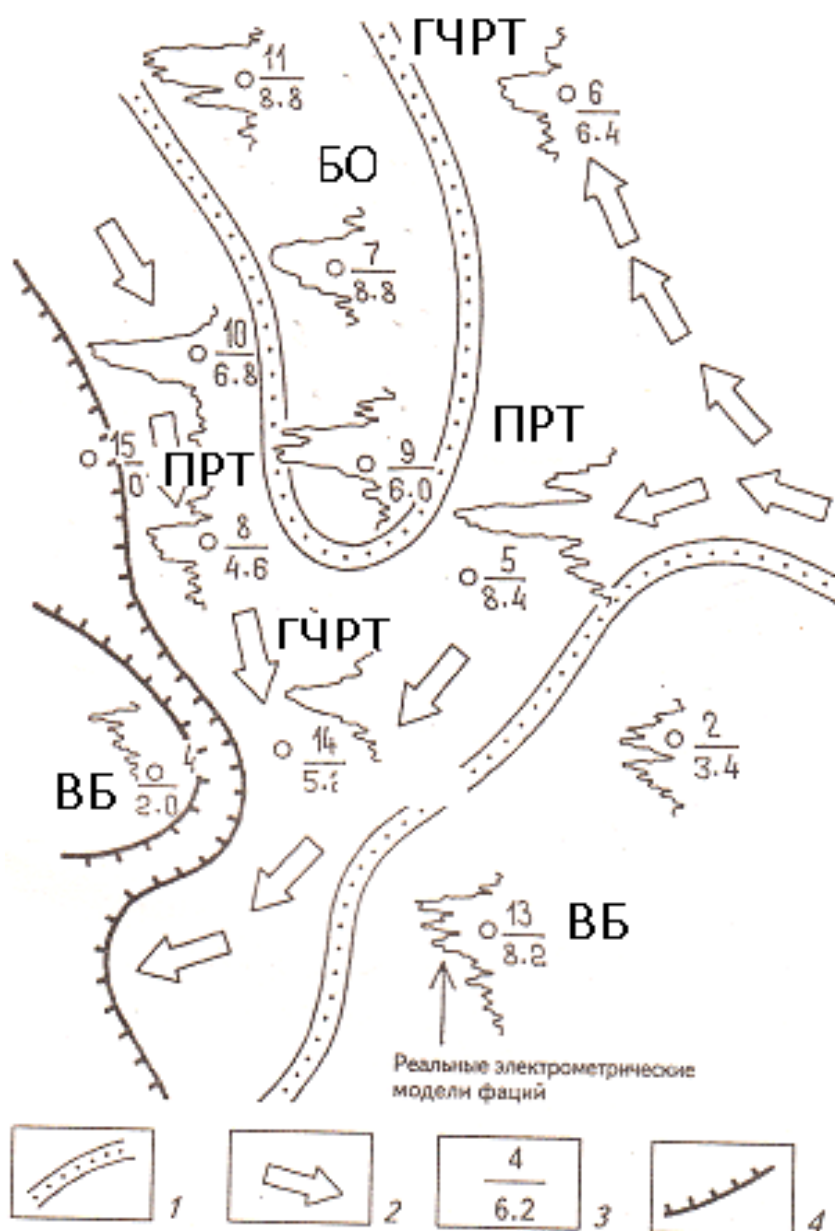
Для вскрытого на этом же месторождении однородного пласта песчаников приблизительно такой же мощности, пористость которого колеблется от 0,26 до 0,20 (с глубиной увеличивается глинистость пласта), имеем  $K_{\text{пес}}=1$ ;  $C_T=1$ ,  $K_H=1$ ;  $K_H=0,77$ . Характерно, что упомянутые пласты резко отличались по дебиту нефти. Для первого пласта он составлял 6 м<sup>3</sup>/сут, а для второго – 72 м<sup>3</sup>/сут.

Особого внимания требует способ, основанный на использовании для фациального анализа зависимостей между литофизическими свойствами горных пород и кривых электрокаротажа и, в первую очередь, диаграмм ПС. На них наиболее отчётливо отражается смена палеодинамических условий осадконакопления, что позволяет опре-

делять генезис осадков и осуществлять реконструкцию палеогидродинамических обстановок формирования коллекторов.

Размер обломочного материала скелета и содержание глинистого вещества в породах отражают палеогидродинамические уровни водных потоков, а медианный размер зерен сопоставим с относительными амплитудами ПС. Это позволило В. С. Муромцеву и его последователям разработать и успешно применять на практике электрометрические модели фаций. Сущность способа и его эффективность рассмотрим на примере изучения юрских отложений Северо – Юрьевского нефтяного месторождения (З. Сибирь, Сургутский свод).

В рассматриваемых отложениях выделено несколько фаций, относящихся к прибрежно – морскому комплексу (все текстовые и графические сведения по А. В. Ахиярову). Это фации барьерных островов, промоин и головных частей разрывных течений, вдоль береговых баров и прибрежных валов (см. раздел 1 и рис. 1.3). Результаты выделения этих фаций приведены на рис. 4.4. При фа-



альном районировании исполнители опирались на формализованные электрометрические модели фаций, обоснованные В. С. Муромцевым (рис. 4.5), данные оценки диаметра песчаных зёрен и характеристики неоднородности пластов.

Рис. 4.4. Пример фациального районирования песчано-глинистых отложений

1 - границы распространения фаций; 2 – предполагаемые направления движения разрывных течений; 3 – номер скважины (числитель) и

эффективная толщина коллектора (знаменатель); 4 – зона глинизации по данным сейсморазведки и ГИС; фации: БО - барьерных островов; ПРТ - промысловых разрывных течений; ГЧРТ - головных частей разрывных течений; ВБ - вдоль береговых баров

Интегрированный фациальный анализ позволяет прогнозировать размещение добывающих скважин и ожидаемый их дебит (в основном качественно). Например, по результатам анализа рассматриваемой выше площади наиболее перспективной для добычи признана фация барьерных островов, так как для пластов песчаников характерна высокая степень однородности, диаметр зёрен около 0,2 мм. Практика добычи показала, что из коллекторов, отнесённых к этой фации, получены самые продуктивные притоки нефти (около 75 м<sup>3</sup>/сут). Высокой неоднородностью, а также песчано-алевритовым характером зёрен ( $d_m \approx 0,05$  мм) отличались песчаные коллекторы


Формализованные электрометрические модели фации	Фация	№ скв.
	Барьерных островов	7 9 11
	Головных частей разрывных течений	6 8 14
	Промоины разрывных течений	5 10
	Вдольбереговых баров и прибрежных валов (регрессивных)	4 13
	То же, в условиях резкой смены регрессивного цикла на трансгрессивный	2
	Головных частей разрывных течений	5 11 13 14
	Вдольбереговых баров и прибрежных валов (трансгрессивных)	1

Рис. 4.5. Морфология аномалий ПС, характерных для типовых фаций прибрежно - морских отложений

вдольбереговых баров и головных частей разрывных течений. Дебит скважин из пластов этой фации составил 5 – 10 м<sup>3</sup>/сут. Минимальной продуктивностью отмечены коллекторы фаций промоин разрывных течений и резкой смены регрессивного цикла на трансгрессивный (на рис. 4.5 скв 2).

## 5. Изучение непроницаемых неоднородностей продуктивных терригенных коллекторов методом КС

### 5.1 Модели неоднородностей

Для завершения формирования геолого – геофизической модели залежи углеводородов имеется возможность уточнить представление относительно внутренней структуры продуктивных коллекторов. Нередко пласты или даже горизонты песчаных коллекторов содержат геологические неоднородности. К ним относятся непроницаемые карбонатные или глинистые прослои или их локальные линзы, а также участки развития трещиноватости. Упрощенные модели этих неоднородностей в разрезе показаны на рис. 5.1. Обычно подобные объекты отличаются от коллекторов по увеличению (карбонаты) или уменьшению (глинистые и трещиноватые породы) удельного сопротивления (УС). При изучении по данным ГИС УС и других физических свойств разделить протяжённые и локальные неоднородности часто не удаётся и выводы об их размерах делаются лишь по результатам корреляции геологических колонок скважин.

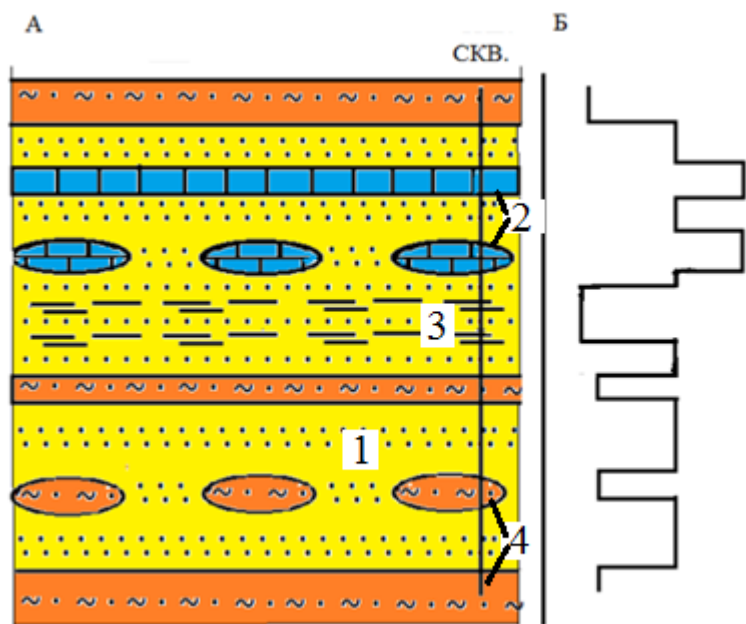


Рис. 5.1. Геоэлектрическая модель разреза с песчаным продуктивным коллектором, содержащим неоднородности, отличающиеся по удельному сопротивлению от вмещающей среды

А – разрез; Б – график УС по условной скважине

1 – песчаный коллектор; 2 – карбонаты; 3 – трещиноватость; 4 – глинистые породы

Литология неоднородностей и их УС обычно легко определяются по показаниям комплекса методов ГИС, а вот данные о форме и размерах в пространстве этих неоднородностей получить оказывается достаточно сложно. Вместе с тем при составлении геолого - геофизических моделей для подсчёта запасов, гидродинамического проектирования, планирования разработки нефтегазовых залежей и других целей получить представление о структуре неоднородных коллекторов весьма важно. Протяженные слои непроницаемых пород даже при их малой мощности изолируют разделяемые ими части пластов – коллекторов, что усложняет гидродинамическую обста-

новку, и они должны быть исключены при определении эффективной мощности коллекторов и учтены при гидродинамическом моделировании. Ограниченность неоднородностей является благоприятным признаком в коллекторе, так как не уменьшает его фильтрационно – ёмкостные характеристики и в меньшей степени усложняет структуру коллектора.

## 5.2 Теоретические предпосылки изучения маломощных неоднородностей

Наиболее благоприятные предпосылки для изучения неоднородностей имеют исследования с потенциал – зондом (ПЗ), условно АМ, метода КС, на показания которого влияют как электрические свойства, так и геометрия объекта.

Начнём со случая, когда мощность  $h$  пересекаемой скважиной неоднородности меньше АМ. Для оценки влияния размеров неоднородности на показания зонда воспользуемся моделью предельно тонкого диска - изолятора радиуса  $R$ . С целью формирования расчётных формул используем решение, полученное в смешанной (декартовой и эллиптической) системе координат [11]. Связь между этими системами вытекает из уравнения  $x^2/R^2(\lambda^2+1) + z^2/R^2\lambda^2=1$  (рис. 5.2). Будем полагать, что УС вмещающей среды  $\rho_0$  равно 1.

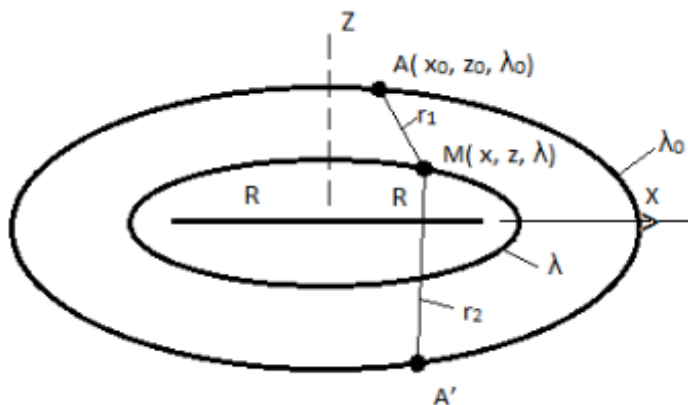


Рис. 5.2. Схема, поясняющая условия расчета  $\rho_k$  при заданных положениях точечного источника тока (А) и точки наблюдения (М) в декартовой и эллиптической системах координат в присутствии тонкого диска радиуса  $R$

При заданных положениях точечного токового источника  $A(x_0, z_0, \lambda_0)$  и точки наблюдения  $M(x, z, \lambda)$ , (для упрощения  $y = y_0 = 0$ ) выражение для кажущегося сопротивления по условной скважине, нормально пересекающей диск – изолятор, имеет вид:

$$\rho_k = 1 + r_1/\pi \left[ r^+ \arctan \frac{r_2 - r_1}{2R\lambda_0\lambda} + r^- \arctan \frac{r_2 + r_1}{2R\lambda_0\lambda} \right], \quad (5.1)$$

где  $r^\pm = \frac{1}{r_2} \pm \frac{1}{r_1}$ ,  $r_1 = [(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}$ ,  $r_2 = [(x-x_0)^2 + (z+z_0)^2]^{1/2}$ .

Для модели диска – проводника при тех же элементах схемы (рис. 5.2)

$$\rho_K = 1 + r_1 / \pi \left\{ 2/R \operatorname{arccot} \lambda_0 \operatorname{arccot} \lambda - \left[ r^+ \operatorname{arc} \tan \frac{r_1 + r_2}{2R \lambda_0 \lambda} + r^- \operatorname{arc} \tan \frac{r_2 - r_1}{2R \lambda_0 \lambda} \right] \right\}. \quad (5.2)$$

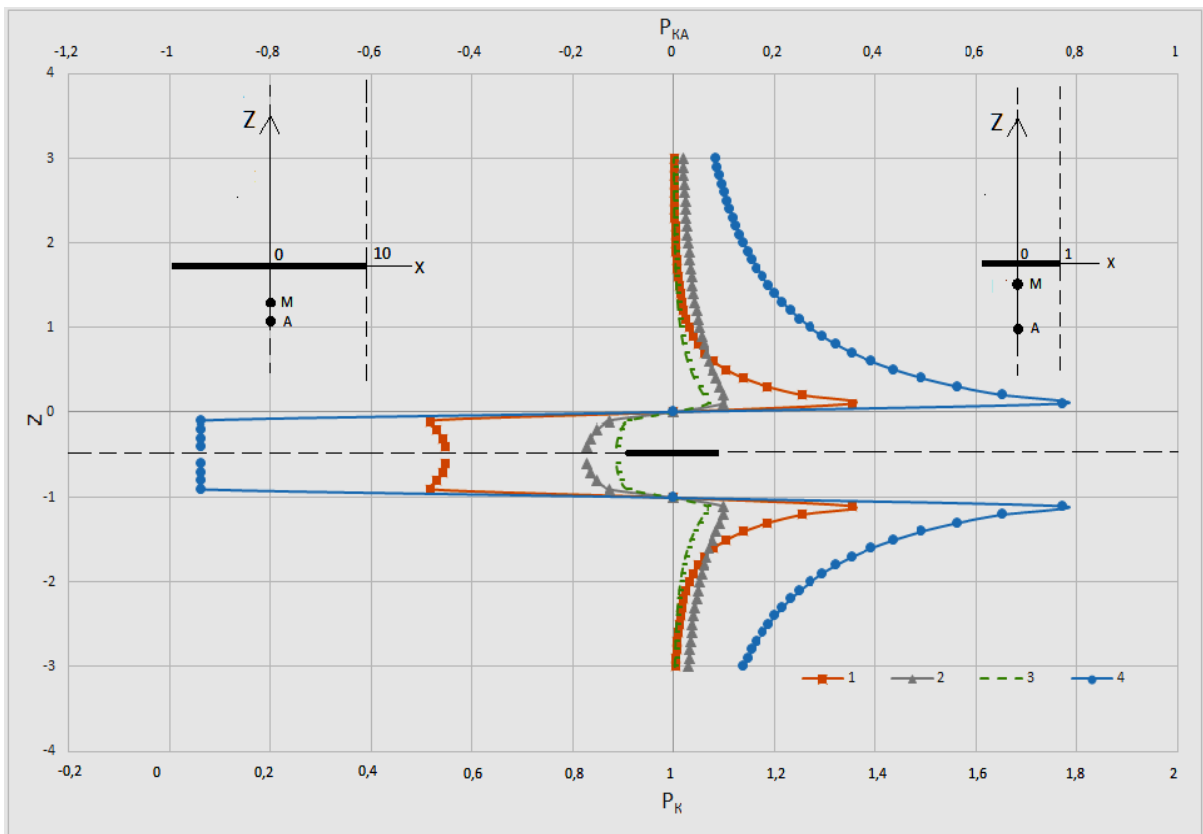


Рис. 5.3. Теоретические кривые  $\rho_K$  для потенциал – зонда АМ при различных относительных размерах тонкого диска – изолятора и положения условной скважины

1 –  $x=0$ ,  $R=1$ ; 2 –  $x=10$ ,  $R=10$ ; 3 –  $x=1$ ,  $R=1$ ; 4 –  $x=0$ ,  $R=10$

Из теории метода КС [6] известно, что для пласта – изолятора предельные аномальные значения  $\rho_K$  для ПЗ равны 0 и 2. На рис. 5.3 приводится серия кривых  $\rho_K$  (а также аномальной составляющей  $\rho_{KA}$ ), рассчитанных для диска – изолятора ограниченного радиуса, по которым можно судить о влиянии на амплитуду аномалий величины  $R$ . Все линейные размеры даны в долях длины зонда АМ=1

Например, для  $R=10$  при  $x=0$  (трасса наблюдений проходит через центр диска)  $\rho_k^{\max}=1,8$ , а  $\rho_k^{\min}=0,05$ . Заметнее отличия аномальных значений  $\rho_k$  от модели бесконечного пласта при прохождении трассы наблюдений через край такого диска:  $\rho_k^{\max}=1,1$  (аномалия меньше в 10 раз) и  $\rho_k^{\min}=0,83$  (аномалия меньше в 6 раз). В случае же малых размеров диска ( $R=1$ ) аномальные значения ещё меньше (см. рис. 5.3). Следовательно, уменьшение размеров модели неоднородности, а также близость скважины к краю диска вызывает заметное ослабление аномалий  $\rho_k$  относительно ожидаемых значений для бесконечного тонкого пласта – изолятора.

Основываясь на квазиподобии аномалий от объектов различной контрастности УС, можно полагать, что для тонкой неоднородности с высоким но конечным УС влияние конечных размеров объекта повлияет на аномальную составляющую  $\rho_k$  в такой же пропорции, как и в случае идеального изолятора. Например, при прохождении трассы наблюдений через край большого тонкого диска с УС равным 5, вместо  $\rho_k^{\max}=1,5$  получим  $\rho_k^{\max}\approx 1,05$ , а вместо  $\rho_k^{\min}=0,35$  получим  $\rho_k^{\min}\approx 0,9$ .

Реальные электрические свойства пересечений высокоомных неоднородностей могут быть охарактеризованы по данным микрозондов или малого градиент – зонда (ГЗ) одинаковой длины с ПЗ.

При изучении маломощных неоднородностей, представленных непроницаемыми глинистыми породами с пониженным УС, полезны будут результаты математического моделирования с тонким круглым диском – проводником. Используя выражение (5.2), рассчитаны и представлены на рисунке 5.4 кривые КС для нескольких случаев пересечения диска – проводника.

Видно, что в пределах в целом отрицательной аномалии от проводника можно выделить три экстремума: с минимальными значениями  $\rho_k^{\min}$  по обе стороны от пересеченного диска и положительный экстремум  $\rho_k^{\max}$  на самом диске. Наличие локального экстремума не характерно для протяженной неоднородности и является признаком ограниченности объекта.

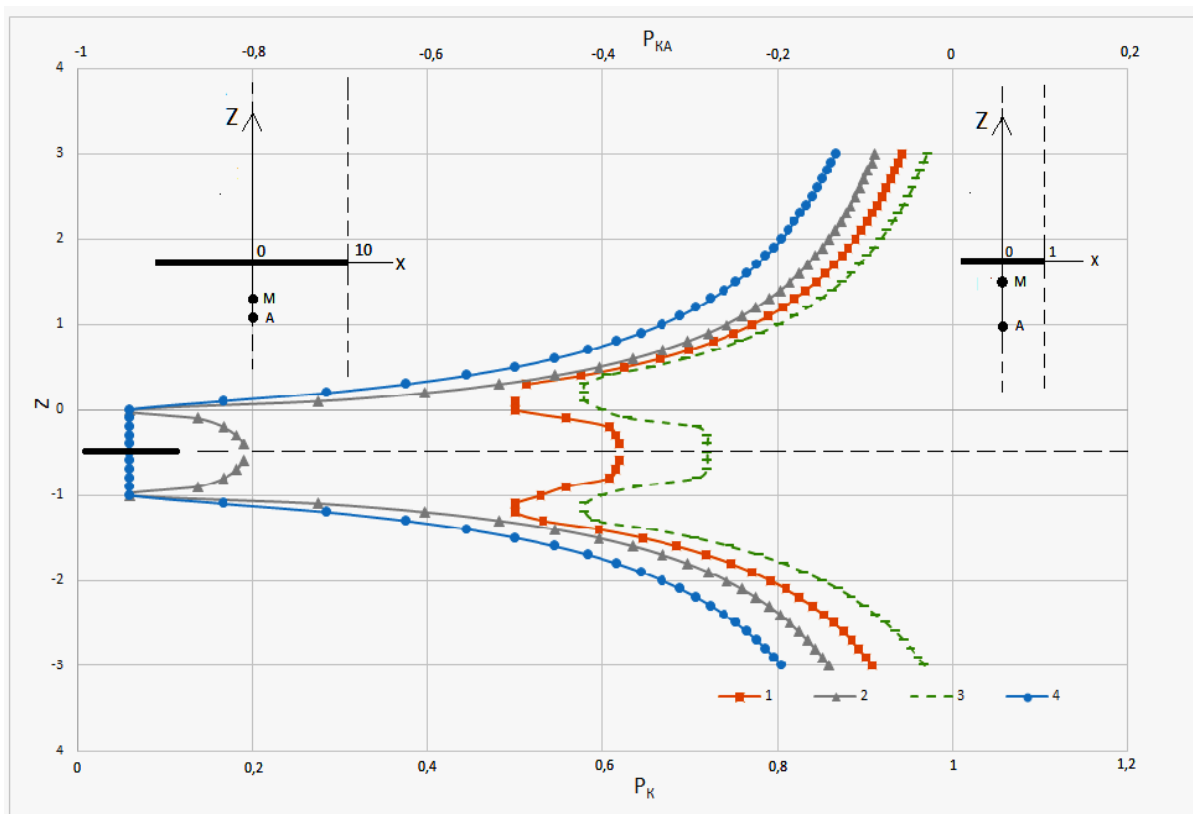


Рис. 5.4. Теоретические кривые  $\rho_k$  для потенциал – зонда АМ при различных относительных размерах тонкого диска – проводника  
 1 –  $x=0, R=1$ ; 2 –  $x=10, R=10$ ; 3 –  $x=1, R=1$ ; 4 –  $x=0, R=10$

Также как для диска – изолятора, ограниченность размеров проводника проявляется в ослаблении аномального эффекта от него. О степени этого ослабления можно судить по приводимым на рисунке 5.4 кривым  $\rho_k$ . Заметим, что при  $R=\infty$  на уровне диска, разделяющего электроды АМ  $\rho_k=0$ .

Следовательно, слабая аномалия  $\rho_k$  для ПЗ на изучаемом прослое – проводнике свидетельствует о его весьма ограниченных размерах по латерали.

Полезно знать признаки проявления аномальности на кривых  $\rho_k$  ПЗ при конечных значениях толщины  $h$  и УС относительно тонкого протяженного прослая. Ориентироваться проще всего по точкам с экстремальными значениям  $\rho_k$ , выраженным в долях УС ( $\rho_0$ ) вмещающей среды (коллектора). Эти характерные точки показаны на образцах типичных аномальных кривых  $\rho_k$  для маломощного прослая (рис. 5.5).

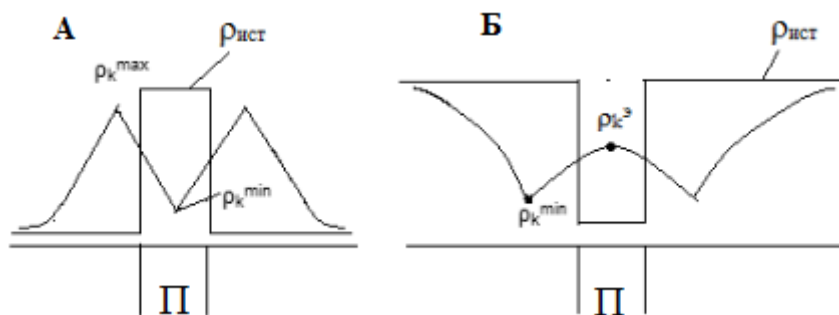


Рис. 5.5. Пример графиков  $\rho_k$  (потенциал – зонд АМ) и истинного УС ( $\rho^{\text{ист}}$ ) для среды с тонким прослоем (Π) относительно повышенного и пониженного УС при его мощности  $h=0,5AM$

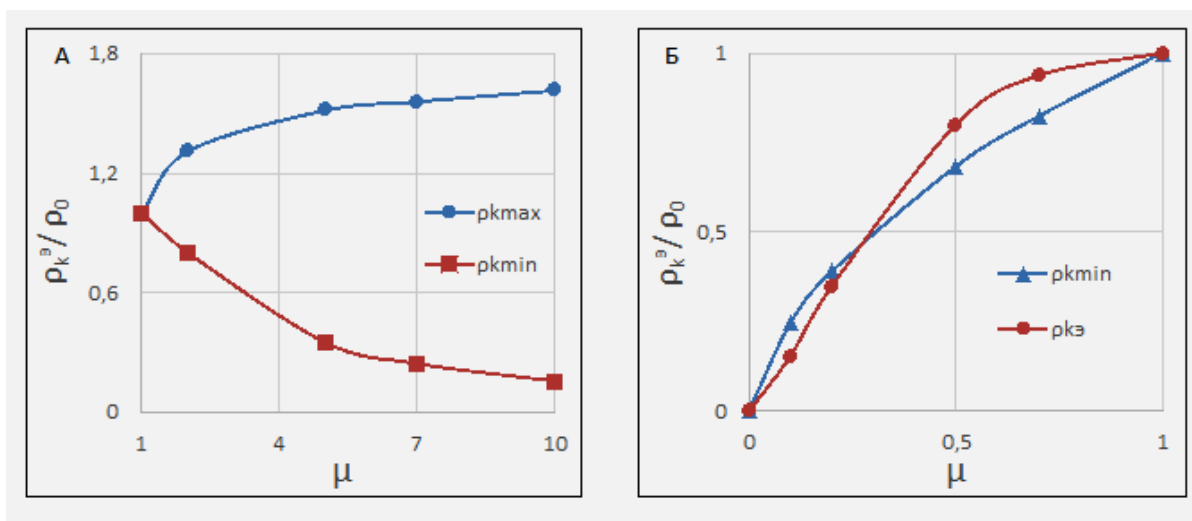


Рис. 5.6. Зависимости относительных значений УС ПЗ в точках экстремумов ( $\rho_k^3 / \rho_0$ ) от параметра  $\mu = \rho^{\text{ист}} / \rho_0$  для маломощного протяженного прослоя при  $h=0,5AM$

Для случая  $h=0,5AM$  рассчитаны зависимости экстремальных значений  $\rho_k$  от контрастности объекта, то есть от параметра  $\mu = \rho^{\text{ист}} / \rho_0$ . По ним, как для высокоомного (А), так и низкоомного (Б) объектов (рис. 5.6), можно оценить ожидаемое экстремальное значение кривых КС при неограниченных размерах неоднородности.

Очевидно на практике, при анализе аномальных участков диаграмм в случае соответствия значений  $\rho_k^3 / \rho_0$  тем величинам, которые могут быть определены по теоретическим зависимостям рис. 5.6, обоснованно допустить вывод о большой протяженности неоднородности в коллекторе.

### 5.3 Обоснование методики оценки размеров неоднородностей

Перейдем к рассмотрению случая, когда мощность неоднородности превышает длину стандартного ПЗ, например, 0,5 м. Для объекта – идеального проводника о его размерах можно судить по площади поверхности  $S$ .

Для тела в виде круглого цилиндра мощностью  $h$  от поверхности  $S$  легко перейти к радиусу цилиндра  $R$ , по которому можно судить о протяженности объекта. Для идеального проводника  $S$  определяется через приведенный к току потенциал  $U^*$  заряженного тела по известной формуле [12 и др.]:

$$S = (\rho_0 / U^*)^2 / 4\pi. \quad (5.3)$$

Для тел, у которых УС больше или меньше  $\rho_0$  выполняется принцип квазиподобия аномальных составляющих электрического потенциала  $U_{ат}$  при одинаковых геометрических параметрах сравниваемых объектов. На теоретических моделях [13] доказано, что коэффициент подобия  $m = U^*_a / U_a$  позволяет привести потенциал  $U_T$  заряженного тела конечной электропроводности (при определении аномальной составляющей относительно нормального потенциала  $U_0$ :  $U_{ат} = U_T - U_0$ , к условиям идеального проводника:

$$U^* = U_0 + mU_{ат}. \quad (5.4)$$

После этого  $U^*$  используется для определения  $S$  и  $R$  тела.

Приведенные к току значения  $U_T$ ,  $U_0$ ,  $U_{ат}$  могут быть установлены по показаниям ПЗ. Для определения коэффициента подобия  $m$  необходимо располагать данными о  $\Delta U_{ат}^{\Gamma 3}$  которые могут быть получены с помощью ГЗ одного размера с ПЗ:  $\Delta U_{ат}^{\Gamma 3} = \Delta U_T^{\Gamma 3} - \Delta U_0^{\Gamma 3}$ . Так как для приведения показаний ГЗ к условиям идеального проводника необходимо выполнение условия:  $\Delta U_0^{\Gamma 3} + m\Delta U_a^{\Gamma 3} = 0$ , то искомый коэффициент  $m = -\Delta U_0^{\Gamma 3} / \Delta U_a^{\Gamma 3}$ . Для тел с пониженным УС  $m > 0$ , а для относительно высокоомных тел -  $m < 0$ .

Применительно к технологии каротажа методом КС для определения размеров геологического тела во вмещающей среде (в нашем случае непроницаемого прослоя в коллекторе) необходимо

иметь диаграммы  $\rho_k$  ПЗ и ГЗ приблизительно одинаковой длины, но не превышающей мощность пересечения тела скважиной. Формально процедура обработки диаграмм КС, упомянутых зондов, состоит в определении значений  $\rho_{кт}^Г$  и  $\rho_{кт}^{ПЗ}$  в изучаемом геологическом теле в точках записи (О) при одинаковом положении токового электрода. Например, если для ПЗ значения определяются в середине пересечения, то на диаграмме ГЗ оно берётся со сдвигом на половину длины зонда в сторону от токового электрода. Значения  $\rho_0$  в большинстве случаев по показаниям ПЗ и ГЗ близки и лишь при малых размерах коллектора наблюдаются различия. Поэтому лучше ориентироваться на ГЗ.

По показаниям ПЗ определяется характеристика вмещающей среды  $\rho_0$ , которая соответствует свойствам коллектора, значение  $\rho_{кт}^{ПЗ}$  при положении зонда внутри изучаемого тела и его аномальная составляющая  $\rho_{ка}^{ПЗ} = \rho_{кт}^{ПЗ} - \rho_0$ . По показаниям ГЗ в теле вычисляют аномальную составляющую  $\rho_{ка}^{ГЗ} = \rho_{кт}^{ГЗ} - \rho_0$  и коэффициент подобия  $m = -\rho_0 / \rho_{ка}^{ГЗ}$ . Затем находят искомое значение  $U^*$ :

$$U^* = [\rho_0 + m \rho_{ка}^{ПЗ}] / k_{ПЗ}. \quad (5.5)$$

5)

Далее применяется формула (5.3), после чего можно оценить эффективный радиус тела  $R$ , используя уравнение  $S = 2\pi R^2 + 2\pi R h$ .

Выражение для  $S$  можно представить в виде

$$S = 0,08 k_{ПЗ}^2 [1 / (1 - \rho_{ка}^{ПЗ} / \rho_{ка}^{ГЗ})]^2. \quad (5.6)$$

Даже без вычислений можно определить, что если  $\rho_{ка}^{ПЗ} \approx \rho_{ка}^{ГЗ}$ , то изучаемое геологическое тело (прослой или другой объект) во вмещающей его среде имеет весьма большие размеры ( $R \rightarrow \infty$ ). И, напротив, заметное превышение по модулю  $\rho_{ка}^{ГЗ}$  относительно  $\rho_{ка}^{ПЗ}$  свидетельствует об ограниченности размера изучаемого объекта.

При практических работах, если ориентироваться на полуметровый ПЗ, то в качестве ГЗ можно применять стандартный зонд БКЗ с длиной АО= 0,45 м. Предполагается, что используемые при вычислениях значения  $\rho_k$  для ПЗ и ГЗ получены при одном и том же положении источника тока в изучаемом прослое. Как понятно из упомянутых теоретических положений, способ пригоден для оценки размеров неоднородностей как повышенного, так и пониженного УС.

Таким образом, располагая диаграммами  $\rho_k$  ПЗ и ГЗ одинаковой длины, при сравнительно маломощных неоднородностях (например, меньше 0,5 м) возможно выделить те из них, которые фиксируются потенциал – зондом относительно слабыми аномалиями, и отнести их к классу линзовидных тел весьма ограниченных размеров. Другие же неоднородности, аномалии на которых при известной их контрастности по УС, имеют признаки, характерные для пластов безграничных размеров, следует отнести к классу протяженных прослоев. Можно считать, что их радиус не менее чем на порядок больше длины ПЗ.

#### **5.4 Практические примеры**

В качестве практических примеров служат результаты некоторых измерений  $\rho_k$  в пределах неоднородных коллекторов по скважинам Спорышевского нефтяного месторождения в ЯНАО Тюменской области. Основное внимание уделим диаграммам ПЗ (АМ=05 м) и ГЗ (АО=0,45 м).

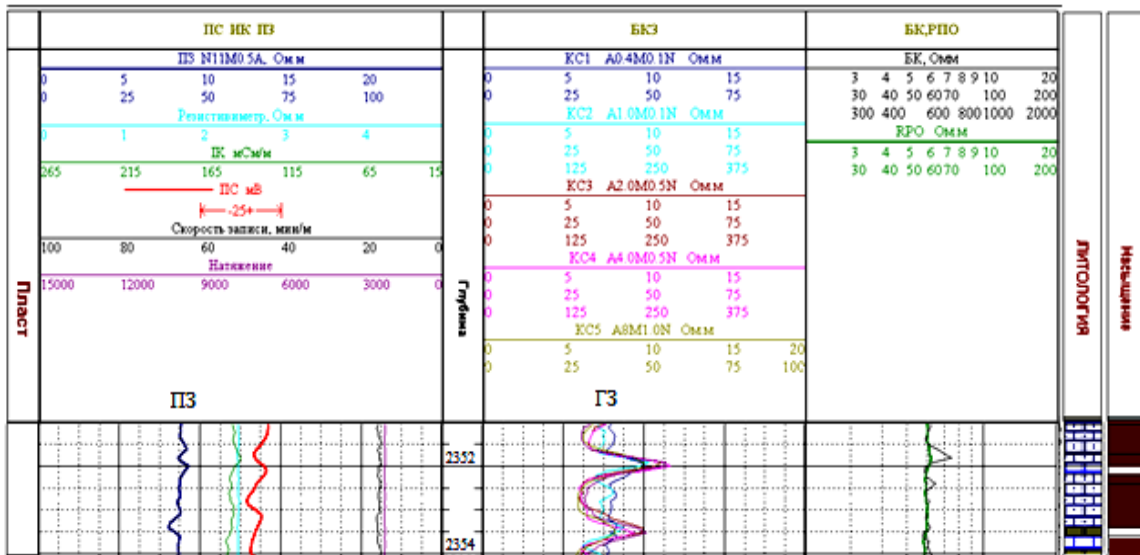


Рис. 5.7. Пример проявления ограниченности размеров маломощных включений карбонатов в продуктивном песчаном коллекторе по показаниям ПЗ и ГЗ

На рис. 5.7 приведены диаграммы ПЗ и ГЗ для пласта продуктивного коллектора с двумя пересечениями относительно высокоомных карбонатов малой мощности. Они чётко фиксируются повышением  $\rho_k$  по ГЗ, но на диаграмме ПЗ имеют отрицательные аномалии и заметно меньшие по величине, чем можно было ожидать в случае существенной протяжённости рассматриваемых неоднородностей (см. рис.5. 6 А). Следовательно, это линзовидные тела ограниченной длины, выклинивающиеся в коллекторе.

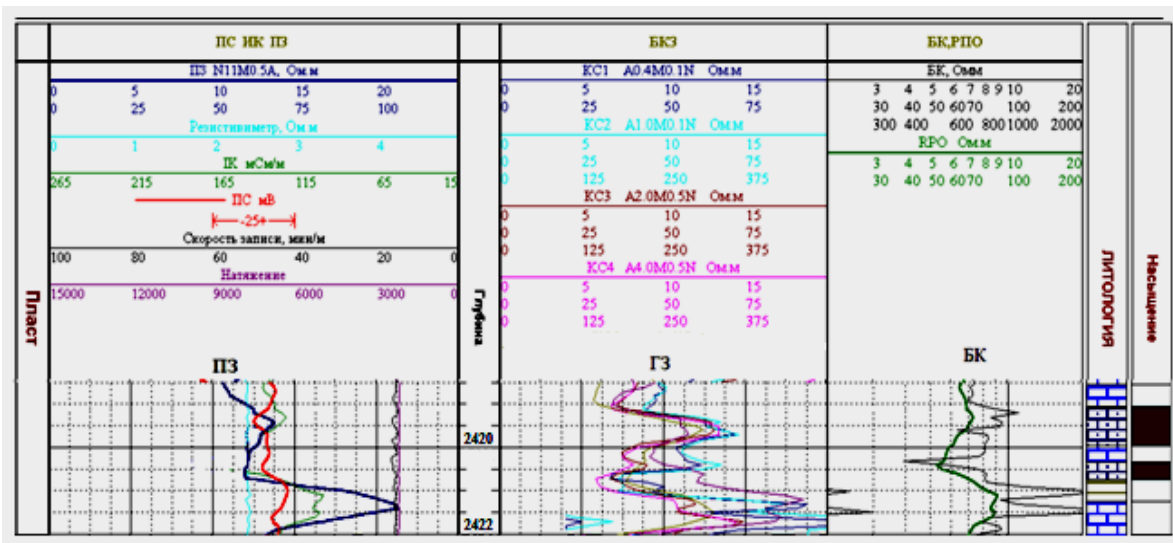


Рис. 5.8. Пример проявления ограниченного по размерам прослоя глинистых пород в продуктивном песчаном коллекторе по показаниям ПЗ, ГЗ и БК

Другой пример проявления ограниченности по размерам низкоомного прослоя глинистых пород на диаграммах КС иллюстрирует рис. 5.8. Так, если глинистые породы внутри нефтенасыщенного песчаного коллектора (2420 -2420,4 м), продуктивность которого уменьшается с глубиной, фиксируются четкой отрицательной аномалией на диаграммах ГЗ и БК, то по показаниям ПЗ этот объект практически не выделяется. Это свидетельствует о близости скважины к его выклинке.

Для демонстрации примеров оценки размеров неоднородностей, мощность пересечений которых превышают длину ПЗ, обратимся к рис. 5.9. На приведённых диаграммах ПЗ, ГЗ и других методов в водонасыщенном коллекторе фиксируются прослой глинистых пород пониженного УС (в верхней части рассматриваемого участка разреза) и карбонатные породы относительно более высокого УС. Для вмещающей среды – коллектора характерно значение  $\rho_{к0} = 14$  Омм.

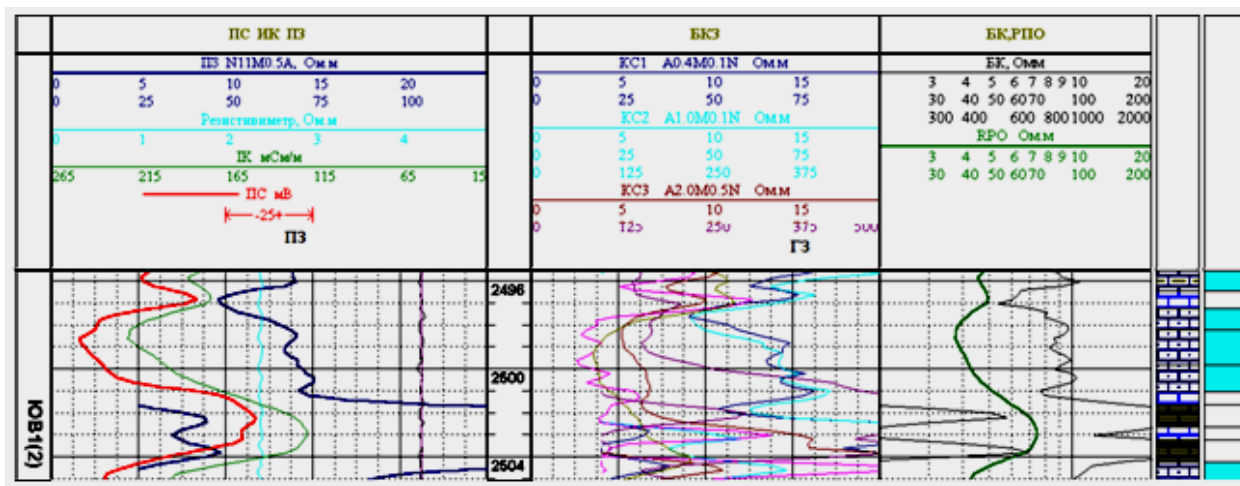


Рис. 5.9. Исходные фрагменты диаграмм КС, используемые для определения эффективного радиуса прослоев глинистых и карбонатных пород в коллекторе

Определяя аномальные значения на глинистых породах  $\rho_{ка}^{ПЗ} = -3,2$  Омм, а  $\rho_{ка}^{ГЗ} = -4,6$  Омм и подставляя их в выражение (5.6), получим

$S=5,4 \text{ м}^2$ . При толщине глинистого прослоя 1 м его эффективный радиус приблизительно равен 0,6 м. Практически эта величина соответствует радиусу высокоомной зоны проникновения, в пределах которой глинистый прослой является аномальным объектом ограниченных размеров. Пример приведён исключительно для демонстрации техники вычислений эффективного радиуса аномального тела. В случае продуктивного коллектора полученный результат свидетельствовал бы о выклинке глинистых пород в коллекторе

На карбонатных породах значения  $\rho_{ка}$  для ПЗ и ГЗ практически одинаковы. Поэтому без вычислений можно полагать, что прослой в коллекторе известняков имеет условно  $R = \infty$ , то – есть это тело имеет значительное распространение в разрезе.

В заключение можно отметить, что рассмотренные методики дают возможность лишь приблизительно оценить размеры непроницаемых неоднородностей в коллекторе. И, тем не менее, такие оценки представляют несомненный интерес, и их проведение во многих случаях снимает неопределённость относительно структуры разведываемых толщ коллекторов, что особенно важно для их продуктивной части.

Необходимо также подчеркнуть целесообразность изучения методами КС неоднородных коллекторов в более крупном масштабе, чем это часто принято на практике, что позволит более точно оценивать степень значительности неоднородностей.

## **6. Определение характера насыщения маломощных пластов – коллекторов**

### **6.1 Предпосылки решения задачи**

При малой (меньше 2 м) мощности перспективных на углеводороды пластов стандартные методы (ИК, ВИКИЗ), требующие применения относительно больших зондов, часто не позволяют уверенно определить характер насыщения изучаемых коллекторов.

Предпосылкой для определения решения задачи является различие по размерам относительно высокоомных зон в коллекторах

вблизи скважины, вскрывшей пласт. В случае водонасыщенного коллектора высокоомная часть пласта соответствует только зоне проникновения (ЗП) в пласт пресного бурового раствора, диаметр которой  $D_{зп}$  не превышает 1-4 м, а её удельное сопротивление равно  $\rho_{зп}$ . За пределами ЗП коллектор насыщен минерализованной водой и его удельное сопротивление  $\rho_{пв}$  значительно ниже чем в зоне проникновения. У нефтегазонасыщенного коллектора ЗП (с  $\rho_{зп}$ ) и, расположенных за ней неизменённых пород с углеводородами (с  $\rho_{пн}$ ), электропроводности близки. Поэтому диаметр высокоомного тела  $D_{нг}$  в этом случае значительно превышает типичные для зоны проникновения размеры. Модели для этих двух случаев показаны на рис. 6.1.

Как показано в разделе 5, можно по показаниям одномерных потенциал- и градиент- зондов небольшой длины определить размеры геологического тела вскрытого скважиной при условии его отличия по проводимости от вмещающих горных пород. В рассматриваемой модели предполагается, что вмещающие коллектор глинистые отложения близки по электропроводности водонасыщенной части коллектора.

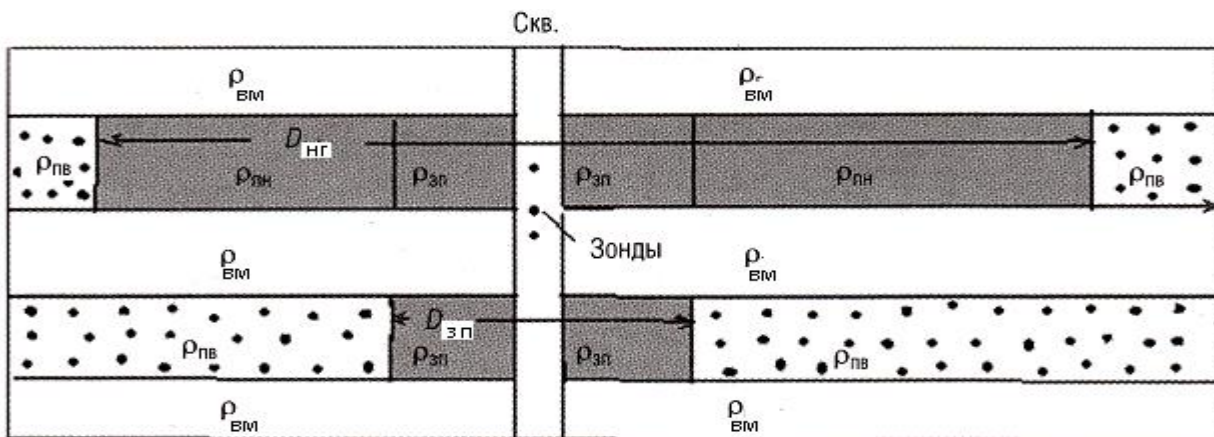
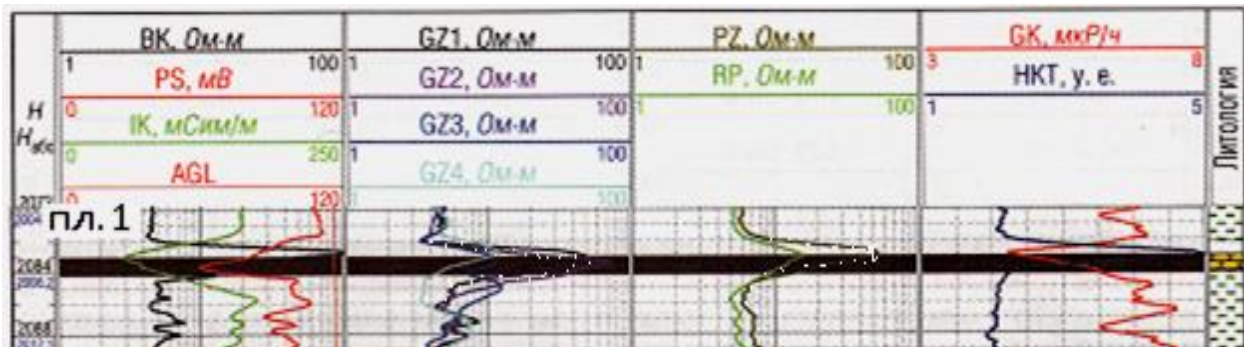


Рис.6.1. Геоэлектрическая модель разреза, содержащего нефтегазонасыщенный и водонасыщенный пласты-коллекторы среди вмещающих пород и отличающиеся размерами высокоомных зон, связанных с наличием зоны проникновения с  $\rho_{зп}$  (только у водонасыщенного коллектора) и зоной нефтегазонасыщения с  $\rho_{пн} \approx \rho_{зп}$

Следовательно, выполняя измерения кажущегося сопротивления одно-размерными потенциал - и градиент – зондами и вычисляя аномальные составляющие можно, как показано в разделе 5, определить по (5.6) значение площади  $S$  высокоомной зоны в коллекторе. Затем вычисляются радиус  $R$  или диаметр  $D$  этой зоны ( $D \approx \sqrt{2S/\pi}$ ), по величине которой и делается вывод о характере насыщения коллектора. Обычно диаметр высокоомной зоны проникновения водонасыщенного пласта – коллектора не превышает 4 м, тогда как у нефтегазонасыщенного пласта такой диаметр высокоомного тела значительно больше.

## 6.2 Примеры из практики

В качестве примера применения рассмотренной методики обратимся к опубликованным данным по изучению коллекторов Самотлорского месторождения [9]. Характер насыщения здесь определялся по измерениям большого комплекса методов ГИС, среди которых были диаграммы полуметрового потенциал-зонда (PZ) и градиент-зонда размером 0,45 м (GZ1). Фрагменты разрезов с пластами-коллекторами (песчаники среди глинистых пород) и диаграммы комплекса ГИС приведены на рис.6.2.



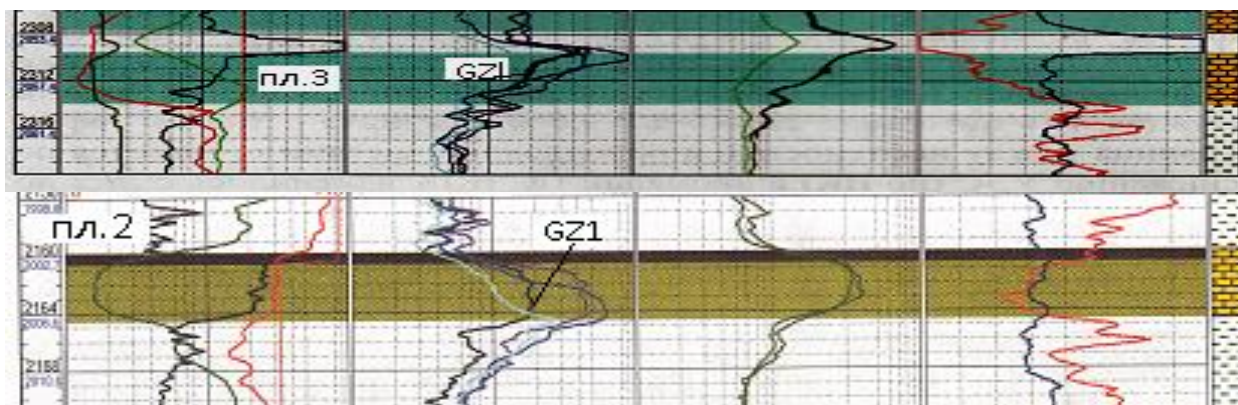


Рис.6.2. Диаграммы методов ГИС на пластах с различным характером насыщения коллекторов, в том числе диаграммы GZ1 и PZ, которые использованы для применения рассматриваемой методики

Рассмотрим три примера. Для каждого из них в средней части пласта - коллектора по диаграммам зондов определены исходные характеристики удельного сопротивления внутри коллектора и в контактирующих с ним вмещающих породах. При существенном различии свойств перекрывающей и подстилающей коллектор толщ вычислены граничные значения удельного сопротивления вмещающей среды, которое использовалось для определения нормального поля  $\rho_{к0}$ . Проведены соответствующие вычисления по алгоритмам приведённых выше с оценкой размеров высокоомной зоны исследуемых пластов. Исходные и результативные данные обобщены в таблице 6.1. Помимо величины  $S$  дана оценка диаметра высокоомной зоны  $D$ . Опыт показывает, что для нефтегазонасыщенных пластов большого размера, поскольку реальные условия не строго соответствуют теоретическим моделям и точность измерений не идеальна, возможны случаи, когда знаменатель в (5.6) не только равен нулю, но даже может быть отрицательным. Физически это не имеет смысла, но, тем не менее, данный факт является признаком больших размеров изучаемого тела.

Таблица 6.1

Результаты обработки диаграмм КС зондов с целью определения характера насыщения пластов-коллекторов

Зонды пласты		GZ1			PZ		Результаты			
№ пл.	h, м	$\rho_{к0}$ Ом м	$\rho_{кт}$ Ом м	m	$\rho_{к0}$ Ом м	$\rho_{кт}$ Ом м	$U^0$ Ом	S м <sup>2</sup>	D м	Насыщение
1	1,8	5,5	50	-0,12	6	55	0,015	22600	85	нефть
2	4	3 и 7 гр 4,2	20	-0,26	5 и 10 гр 6,6	31	0,04	4300	37	Нефть + пресн. вода
3	4,2	40 и 7 гр 12	20	-1,5	70 и 10	23	1,47	2,6	1,3	Вода мине- рализ.

Первый из рассмотренных пластов по комплексу методов ГИС классифицирован как нефтеносный. К аналогичному выводу приходим после оценки диаметра высокоомной зоны исследуемого коллектора, которая составляет 85 м.

Пласт №2 интересен тем, что помимо нефти большая его часть насыщена пресной водой из нагнетательной скважины. Вода относительно высокоомна и поэтому по свойствам пласт выделяется как единое целое. В связи с этим диаметр высокоомной зоны хотя и меньше, чем у пласта №1, но достаточно большой-37м. Это исключает вариант насыщения минерализованной пластовой водой.

Пласт №3 имеет существенно различные вмещающие породы в кровле и подошве. Перекрывающие коллектор плотные известняки имеют удельное сопротивление превышающее пластовое. Тем не менее уверенно определяется малый диаметр высокоомной зоны коллектора (1,3м) типичный для ЗП. Этот факт позволяет подтвердить установленное по комплексу ГИС водонасыщение коллектора пластовой минерализованной водой.

## 7. Подсчёт запасов

### 7.1 Построение карт структурных и подсчётных параметров

В последнее время в связи с внедрением компьютерных технологий, процедура геометризации залежи существенно упростилась. В практике подсчёта запасов и проектирования разработки месторождений стали широко использоваться карты различных подсчётных параметров.

Перечень основных карт моделируемой залежи включает в себя набор следующих карт:

- структурные карты по кровле и подошве залежи;
- эффективных толщин коллектора;
- значений пористости и проницаемости;
- характеристик неоднородности пласта;
- нефтегазонасыщенности;
- линейных запасов углеводородов по пласту;

В отдельных случаях этот набор может быть дополнен построением кубов отдельных параметров (литологических, фильтрационно-ёмкостных и др.), позволяющих представить распределение демонстрируемых параметров в объёме.

Построение требуемого набора карт осуществляется с применением вычислительной техники и специального программного обеспечения, но может быть реализовано вручную. Распространённым способом построения карт является метод непересекающихся треугольников ячеек. При этом площадь наблюдений разбивается на треугольники, в вершинах которых имеются значения картируемого параметра. Исходными являются наблюдённые данные, соответствующие устьям вертикальных скважин (пример на рис. 3.5). Компьютерные технологии позволяют получить более мелкую сеть треугольников, в узлах которых значения параметра получаются с помощью линейной интерполяции. В результате площадь представляет «лоскутное одеяло» из совокупности треугольников. Размеры треугольников должны быть по возможности одинаковыми. Каждый из треугольников имеет 3 значения картируемого параметра, что позволяет охарактеризовать площадь треугольника средним значением, которое записывается в центр треугольника (см. рис.3.5). Эти значе-

ния используются для построения системы изолиний данного параметра.

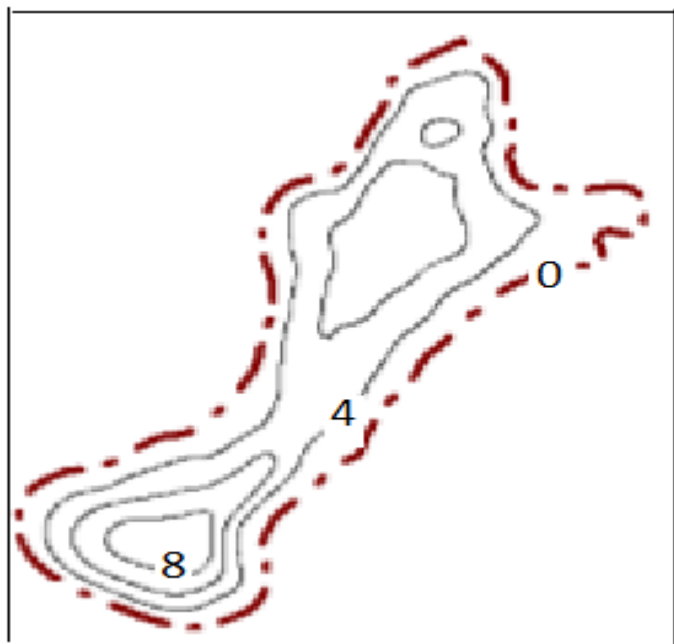


Рис. .1. Пример карты эффективной нефтенасыщенной толщины в м. для нефтяной залежи, используемой для подсчета запасов углеводородов [9]

На рис. 7.1 приводится пример карты эффективной нефтенасыщенной толщины небольшой залежи, положение которой в пределах пласта песчаников показана на структурной карте рис.

2.6. Этот параметр в каждой скважине определяется как толщина продуктивного пласта от подошвы ВНК до кровли. При наличии газовой насыщенности отдельно определяются эффективные газонасыщенные толщины? и строится соответствующая карта.

## 7.2 Подсчёт линейных и объёмных запасов

В результате интерпретации комплекса диаграмм ГИС по каждой скважине с нефтегазонасыщением известны эффективные мощности газонасыщенной  $h_g$  и нефтенасыщенной  $h_n$  части пласта – коллектора. Определены также коэффициенты пористости  $K_{пг}$ , газонасыщенности  $K_g$  и нефтенасыщенности  $K_n$ . Эти данные позволяют вычислить для каждой скважины линейные запасы газа  $q_g$  и нефти  $q_n$ . Они представляют произведение трёх вышеупомянутых параметров. Например, линейные запасы нефти в районе  $i$  - ой скважины

$$q_{ni} = h_{ni} K_{pi} K_{ni}. \quad (7.1)$$

В итоге параметры линейного нефтенасыщения (газонасыщения)  $q$  приписываются устьям соответствующих скважин. Для реализации способа треугольников в центре каждой из  $N$  треугольных ячеек обозначается среднее значение  $q_{срn}$  для  $n$  – ой ячейки из трёх

скважин (см. рис.3.5). По этим данным может быть построена карта линейной нефтенасыщенности.

Для определения запасов углеводородов  $Q$  в залежи необходимо знать площади для каждой треугольной ячейки т.е  $s_n$ . Тогда вычисляя произведение  $q_{срn}s_n$  и их сумму для всех  $N$  ячеек, получим искомую величину  $Q$ :

$$Q = \sum q_{срn} s_n. \quad (7.2)$$

Целесообразно оценить также извлекаемые запасы нефти  $Q_{изв}$  при известном среднем коэффициенте извлечения нефти  $\beta_{извл}$ , который определяется исходя из опыта разработки месторождений подобного типа. Очевидно  $Q_{изв} = Q\beta_{извл}$ . Типичные значения для коэффициента извлечения  $0,6 - 0,7$ .

### 7.3. Оценка погрешности подсчёта запасов

Достоверность определения подсчётных параметров, а следовательно, запасов нефти и газа по данным промысловой геофизики зависит от многих факторов, которые можно объединить в две группы: а) полнота и качество исходной промыслово – геофизической информации; б) оптимальность интерпретации данных измерений, используемых при определении подсчётных параметров.

Комплекс ГИС на всех скважинах изучаемой залежи должен обеспечить получение всей информации для определения эффективной мощности, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщения. Качество диаграмм ГИС должно соответствовать техническим условиям проведения измерений, т. е позволять провести количественную геофизическую и геологическую интерпретацию диаграмм. Например, определение границ коллекторов, мощность непроницаемых прослоек в них должно контролироваться несколькими методами.

Оптимальная интерпретация обеспечивается при выполнении следующих условий: 1) интерпретатор правильно определил тип коллектора в изучаемом геологическом разрезе; 2) выбранная для решения обратной задачи система уравнений, связывающая геофизические параметры и искомые подсчётные параметры, соответствует данному типу коллектора; 3) парные и многомерные петрофизические связи, используемые при индивидуальной интерпретации,

отвечают критериям надёжности и получены на представительном фактическом материале, достаточно полно характеризующем изучаемый объект.

Погрешности определения подсчётных параметров выполняются различными способами и зависят от типа разреза и вида определяемого параметра. Одним из критериев оценки качества результатов измерений является сходимость основного и повторных замеров измеряемой характеристики. Оценка воспроизводимости скважинных измерений получается использованием статистического анализа многократных исследований.

Ограничимся рассмотрением одного из подходов к оценке погрешности определения подсчёта запасов. Так как определение в м эффективной мощности продуктивных коллекторов ( $h_{эф}$ ) может контролироваться несколькими ( $n$ ) методами ГИС, то для каждой из группы скважин можно вычислить его среднее значение  $h_{эф\ ср}$ , которое близко к точному значению. Стандартное или среднеквадратичное отклонение от среднего  $S_h$  при ограниченном комплексе методов вычисляется по формуле

$$S_h = \sqrt{[\sum_0^n (h_{эф\ ср} - h_{эф\ i})^2] / (n - 1)} \quad (7.3)$$

Затем для каждой скважины вычисляется относительная погрешность  $\delta_h$  определения  $h_{эф}$ :  $\delta_h = S_h / h_{эф\ ср}$  и находится среднее значение для выбранной группы скважин.

При определении коэффициента пористости по скважинным измерениям  $K_{п\ скв}$  обычно использует зависимость между физической характеристикой, например плотностью  $\sigma$ , и пористостью. В интервале наиболее типичных значений  $K_{п\ скв}$  по группе скважин, где в тех же пересечениях коллектора имеются определения в лаборатории пористости по керну, последние приводятся к условиям скважины. Обычно на глубине особенно для глинистых коллекторов значения пористости несколько меньше, чем они оказываются при подъёме керна на дневную поверхность. Для среднеглинистых коллекторов ( $\eta_{гл} \approx 0,5$ ) для приведения лабораторных измерений к условиям в скважине на глубине  $H_{км}$  по В. М. Добрынину лабораторные определения пористости необходимо уменьшить на величину  $\Delta K_{п} (\%) = 0,015 H \cdot K_{п\ керна} (\%)$ . Затем с учётом исправленных значений  $K_{п\ керна}$  вычисляют среднеквадратичное отклонение  $S_{K_{п}}$  по  $n$  измерениям

$$S_{Kn} = \sqrt{[\sum_0^n (K_{\text{керна } i} - K_{\text{скв } i})^2] / (n - 1)}. \quad (7.4)$$

Для определения искомой относительной погрешности определения  $\delta_{K\Pi}$  ориентируются на среднее значение исправленных измерений в выбранном интервале  $K_{\Pi \text{ керн}}$ . Вычисляют значение  $\delta_{K\Pi} = S_{K\Pi} / K_{\Pi \text{ керн ср}}$ , которое и рассматривается как относительная погрешность определения пористости по данным ГИС.

Аналогичным образом вычисляется относительная погрешность определения коэффициента нефтенасыщенности  $\delta_{Kn}$  (газонасыщенности) по данным ГИС. В этом случае нет необходимости исправлять данные измерений на кернах. Результаты вычисления относительных погрешностей трёх подсчётных параметров позволяют вычислить относительную погрешность определения величины объёма запасов  $\delta_Q$ , которая рассматривается как функция. В случае произведения трёх аргументов  $\delta_Q = \delta_h + \delta_{K\Pi} + \delta_{Kn}$ . Следовательно, вероятное значение искомого объёма  $Q$  объективней представить в виде некоторого интервала:  $Q \pm \Delta Q$ , где  $\Delta Q = \delta_Q Q$ .

## **7.5 Контроль за разработкой резервуаров в эксплуатационный период**

В период разработки резервуара в исходную геолого - геофизическую модель этого объекта последовательно вносятся изменения, связанные с извлечением углеводородов. Одна из главных задач геофизических исследований заключается в контроле за изменением положения газо- и водонфтяных контактов в скважинах и в пространстве. Роль сейсморазведки при решении этой задачи рассмотрена в 2.7.

## **8. Заключение**

Геолого-геофизические модели строятся на всех стадиях геологоразведочных работ: поисково-оценочной, разведочно-эксплуатационной, эксплуатационной. При этом учитываются особенности этапа работ и требования к соответствующей информации.

Так, если на первом из них подсчёт запасов проводится по категориям  $C_1$  и преимущественно  $C_2$ , то на этапе эксплуатационной разведки данные должны отвечать требованиям категорий В и А. Это достигается сгущением сети скважин и применения детальной корреляции всего фонда пропластков с целью выявления путей фильтрации по проницаемым отложениям для полного вовлечения их в разработку.

Для проектирования и реализации добычи углеводородов создаётся фильтрационная модель месторождения. Цифровая фильтрационная модель представляет объект в виде двухмерной или трёхмерной сети ячеек, каждая из которых характеризуется набором идентификаторов и параметров, как и геологическая модель. Дополнительно приводятся динамические характеристики пластовых свойств и процессов. Это данные о конструкции скважин, дебитах фаз, данные о пластовом и забойном давлении и др.

Помимо наличия дополнительных параметров фильтрационная модель может отличаться от геологической модели большей схематизацией строения, объединением нескольких геологических объектов в единый объект моделирования. Упрощение геометрического построения, осуществляемое в фильтрационной модели, обусловлено необходимостью проводить компьютерные расчёты пластовых процессов и показателей разработки при экономически допустимых затратах машинного времени. Роль промысловой геофизики сводится к обеспечению данных о динамических характеристиках пластов (проницаемость, дебиты-расходы, пластовое и забойное давление и др.), получаемых с применением специальных методик [14, 15 и др.].

В геолого – геофизическую и фильтрационную модели в процессе эксплуатации месторождения вносятся коррективы по результатам ГИС в добывающих скважинах. Эти исследования, объединяемые как контрольные за разработкой нефтяных и газовых месторождений, позволяют получить следующие данные:

- изменение положения ВНК и ГНК в скважинах;
- выделение обводнённых интервалов внутри продуктивных пластов
- текущие карты равного нефтегазосодержания,
- текущий дебит в добывающих скважинах,
- состав флюида в стволах скважин,

- пластовое давление и др.

Технологии геолого – геофизического моделирования непрерывно совершенствуются и имеют специфические особенности на различных объектах.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

## Основная

1. *Жемжурова З. Н., Чекунова В. А., Черноглазов В. Н.* Практикум по геолого – геофизическому моделированию разрабатываемых залежей нефти и газа: Учебн. пособие. М.: ИЦ РГУ нефти и газа, 2012. – 206 с.
2. *Золоева Г. М., Денисов С. Б., Билибин С. И.* Геолого - геофизическое моделирование залежей нефти и газа: Учебн. пособие. – 2 – е изд. доп. и перераб. – М.: МАКС Пресс, 2008. 212 с.
3. *Лобусев А. В.* Геолого – промысловые основы моделирования залежей нефти и газа. Учебник. М: ИЦ РГУ нефти и газа, 2010. – 247 с.

## Дополнительная

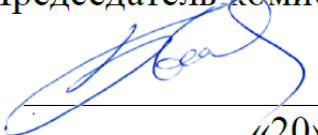
4. *Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель С. Р.* Геосолитонная концепция образования месторождений углеводородов //Геофизика, 50 лет «Хантымансийскгеофизике». 2001, С. 50-53.
5. *Бондарев В. И.* Сейсморазведка: Учебник для вузов. Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2007. 690 с.
6. *Воскресенский Ю. Н.* Полевая геофизика: Учебн. для вузов. – М. ООО «Издательский дом Недра». 2010. – 479 с.
7. *Дахнов В. Н.* Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. Учебник для вузов. – М.: Недра.1982. – 448 с.
8. *Ковач А. Ю., Поздеев Ж. А.* Выделение обводнённых коллекторов по данным ГИС в открытом стволе на примере Самолторского месторождения//НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2013. Вып.11 (233).
9. *Методические указания по созданию постоянно действующих геолого – технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений (часть 1. Геологические модели).* – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 164 с.

10. *Перевертайло Т. Г.* Формирование 3D – геологических моделей месторождений нефти и газа в среде программного комплекса Petrel. Томск: Изд. – во Томского политехнического университета, 2010. – 93 с.
11. *Сапожников В. М.* Диск, полуплоскость и плоскость с вырезом, имеющие предельную или конечную электропроводность, в поле точечного источника тока // Известия Уральской государственной горно – геологической академии. Сер. : Геология и геофизика. – 1996. Вып. 5. С. 111 – 115
12. *Сапожников В. М.* О количественной связи между поверхностью и сопротивлением заземления // Вопросы разведочной геофизики: Тр. Свердловского горного ин – та. 1968. Вып. 54. С. 187 – 189.
13. *Сапожников В. М., Мишедченко И. В.* О степени подобия аномальных электрических полей, возбуждаемых неоднородным полем, и практика интерпретации аномалий// Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 29 – й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. Екатеринбург: УГГ, 2002. С. 255 – 259.
14. *Сапожников В. М.* Интерпретация данных геофизических исследований скважин :Учебн. пособие, Екатеринбург: Изд. – во УГГУ, 2014. – 153 с.
15. *Сковородников И. Г.* Геофизические исследования скважин: Учебн. пособие, Екатеринбург: Институт испытаний, 2009. – 421 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО  
методической комиссией  
факультета геологии и геофизики  
Председатель комиссии

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

Г. С. Возжеников, Ю. В. Бельшев

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-радиоактивными 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  $\gamma$ -спектрометрии для геологического картирования горных пород (например гранитов), отличающихся повышенными величинами кларков ЕРЭ. Минимальными значениями  $\gamma$ -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  $\gamma$ - $\gamma$ -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  $\gamma$ -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 карбонатах, 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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -абсорбционных измерений на  $\text{Cr}$  оказалась универсальной, принципиально пригодной для квалитетических целей при эксплуатации месторождений, руды которых по  $\gamma$ -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  $\text{CaO}$ ).

Применительно к железным рудам  $\gamma$ -абсорбционный метод (ГАМ) может оказаться полезным при необходимости получения сведений о содержании так называемого общего  $\text{Fe}$  или когда связь между магнитной восприимчивостью и массовой долей железа оказывается неустойчивой.

При благоприятном поведении элементного состава матрицы  $\gamma$ -абсорбционный метод оказывается весьма эффективным при контроле и управлении качеством  $\text{Mn}$ -содержащего минерального сырья. В последнее время уже получены положительные результаты по использованию  $\gamma$ -просвечивания в условиях ферросплавного производства для целей дозирования марганцевого агломерата. Интересные результаты получены с помощью  $\gamma$ -абсорбционных измерений при оценке качества огнеупорного сырья (бруситы и продукты их переработки – периклазовый порошок).

В отличие от многочисленных разновидностей  $\gamma$ - $\gamma$ -метода, работающих в режиме «отражения»,  $\gamma$ -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  $\gamma$ -активационного метода присутствие Au в геологических пробах определяется практически немедленно по интенсивности аналитической линии  $\gamma$ -излучения изомера  $Au^{197m}$ , образующегося в результате ядерной реакции ( $\gamma, \gamma'$ ) 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 ( $n, \gamma$ ), 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  $\gamma$ -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  $\text{Cf}^{252}$  – 12 мкг). Анализ ведется по короткоживущим радионуклидам, образующимся в результате ядерной реакции ( $n, \gamma$ ). 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. Основоположителем 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  $\gamma$ -излучения с целью поисков полезных ископаемых.

Эманационная съемка, разновидности  $\gamma$ -измерений (включая  $\gamma$ - $\gamma$ -каротаж скважин), некоторые виды радиометрического анализа геологических проб,  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -съемки. Развивается теория этих методов, методика измерений и способы интерпретации результатов. Создается и внедряется в практику  $\gamma$ -спектрометрическая аппаратура, позволяющая получать сведения о долях К, U и Th в суммарной  $\gamma$ -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- $\gamma$ -спектрометрии до  $\gamma$ -измерений в скважинах (приоритет в изобретении  $\gamma$ -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  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - 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  $\gamma$ -лучей. При подъеме снаряда по скважине верхний детектор регистрировал интенсивность естественного  $\gamma$ -излучения, а нижний – суммарное  $\gamma$ -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. Алексева.

Важным достижением в совершенствовании технологии геофизических исследований скважин следует считать предложенный в 1942 г. физиком-ядерщиком Б. Понтекорво нейтронный  $\gamma$ -метод, который позволил получать информацию о распределении H 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  $\gamma$ - $\gamma$ -метод, основанный на регистрации рассеянного  $\gamma$ -излучения. Физической основой этого метода является эффект

Комптона, названный так в честь лауреата Нобелевской премии, исследовавшего процессы взаимодействия  $\gamma$ -квантов с электронами.

Период с 1950 г. характеризовался исследованиями по усовершенствованию  $\gamma$ - $\gamma$ -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  $\gamma$ - $\gamma$ -каротажа с источниками мягких  $\gamma$ -лучей, названную им селективным  $\gamma$ - $\gamma$ -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  $\gamma$ - $\gamma$ -измерений внесли Е. М. Филиппов, И. Г. Дядькин, В. А. Арцыбашев и др.

В качестве важного этапа развития методов, основанных на взаимодействии  $\gamma$ -лучей с веществом, следует отметить исследования Л. Рейфела и Р. Хемфриса по рентгенофлуоресцентному анализу вещества с использованием источников  $\gamma$ -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 РРМ 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  $\gamma$ -абсорбционный метод, в разработке которого большую роль сыграли уральские геофизики (С. Г. Возжеников, Ю. В. Бельшев 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. Ерозолимым, 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: Си в медных колчеданах (Г. С. Возжеников, 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 ассоциациях 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 вступительном разделе курса лекций. Перечислим лишь основные организации, без упоминания которых невозможно осветить даже ключевые моменты развития ядерно-геофизических методов в нашей стране. В дополнение 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. Филиппов) 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. Сеницын), 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. Возжеников).

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. Возжениковым 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.  $\alpha$ -лучи – тяжелые положительно заряженные частицы, двигающиеся со скоростью  $\sim 10^9$  см/с и поглощающиеся алюминиевой фольгой. Впоследствии было установлено, что этими частицами являются ядра  ${}^4_2\text{He}$ .

2.  $\beta$ -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  $\beta$ -частицы – позитроны).

3.  $\gamma$ -лучи – сильно проникающее излучение, не отклоняющееся ни в электрическом, ни в магнитном полях. Природа  $\gamma$ -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  ${}^1_1\text{H}$ . 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. ( $1,672 \cdot 10^{-24}$  г.).

*Нейтрон* ( $n$ ) – электрически нейтральная частица с массой, близкой и немного большей, чем у протона (1,00893 а.е.м.,  $1,674 \cdot 10^{-24}$  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*  $\Delta m$ , определяет *энергию связи* ядра относительно составляющих его нуклидов. Если обозначить через  $m_p$ ,  $m_n$  и  $M_{\text{я}}$  соответственно массы  $p$ ,  $n$  и ядра, то

$$\Delta m = [m_p Z + m_n (A - Z)] - M_{\text{я}}. \quad (1.1)^*$$

Согласно формуле Эйнштейна, каждому значению массы соответствует определенная энергия  $E = mc^2$ , так что энергию связи ядра  $W$  можно выразить следующим образом:

$$W = \Delta m c^2. \quad (1.2)$$

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<sup>3</sup>. 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  ${}^2\text{He}^4$ ,  ${}^6\text{C}^{12}$ ,  ${}^8\text{O}^{16}$  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  $\varepsilon$  от массового числа  $A$ .

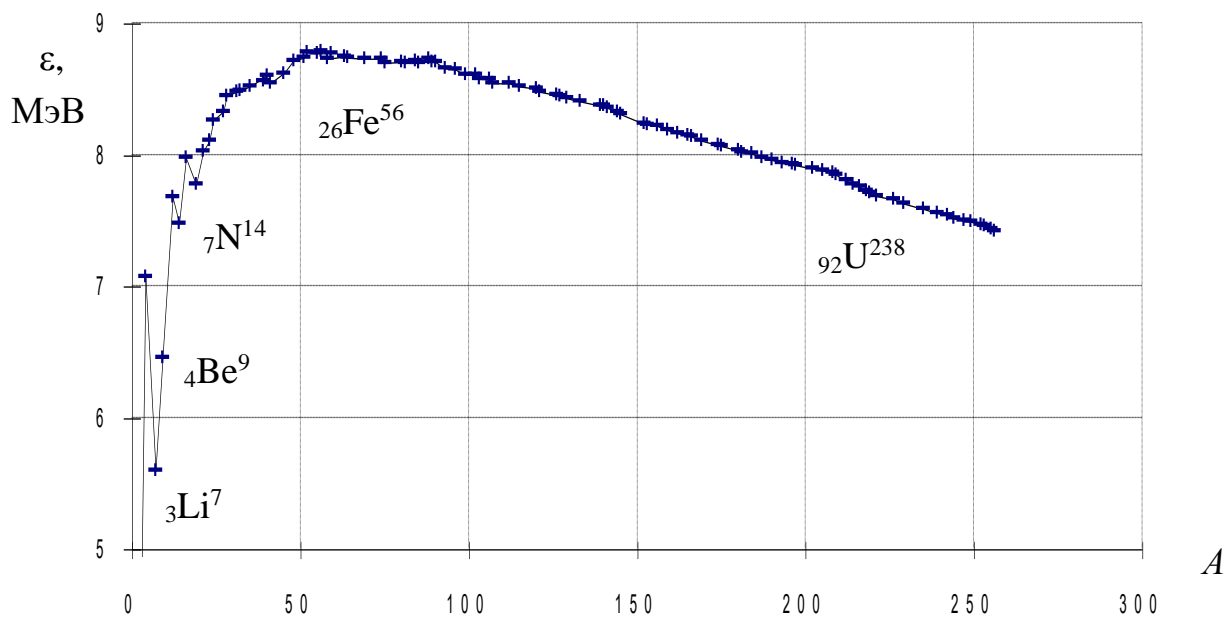


Рис. 1.1

Наименьшее значение энергии связи нейтрона имеет место для изотопа  ${}^9\text{Be}$ . В случае распада  ${}^9\text{Be}$  на две  $\alpha$ -частицы и нейтрон она составляет 1,67 МэВ, хотя энергия связи ядра  ${}^9\text{Be}$ , 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  ${}^{238}\text{U}$  энергия связи в случае распада этого ядра на  ${}^4\text{He}$  и  ${}^{234}\text{Th}$  оказывается отрицательной (-4,25 МэВ). Это означает, что ядро урана является неустойчивым и распадается на  $\alpha$ -частицу и ядро  ${}^{234}\text{Th}$  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  $\epsilon$  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  $\gamma$ -излучения электромагнитной природы.

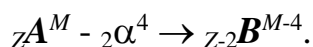
Различают следующие основные виды *ядерных превращений*:  $\alpha$ -распад,  $\beta$ -распад (электронный  $\beta^-$ -распад, позитронный  $\beta^+$ -распад и электронный захват), изомерный переход (ИП) и деление ядер ( $f$ -распад).

#### 1.3.1. Альфа-распад

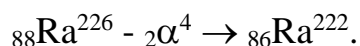
Заключается в превращении материнского ядра  $A$  в дочерний продукт  $B$  путем испускания  $\alpha$ -частицы, представляющей собою ядро  ${}^4_2\text{He}$ . Альфа-частицы имеют массу, равную 4,002264 а.е.м. ( $6,598 \cdot 10^{-24}$  г.), и несут двойной электрический заряд, равный  $3,2044 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Радиоактивные элементы испускают  $\alpha$ -частицы разной энергии (2-10 МэВ), однако для каждого элемента начальная энергия  $\alpha$ -частиц постоянна и является характеристической величиной, если не учитывать особенности, связанные с так называемой «тонкой структурой»  $\alpha$ -спектров.

Вылет  $\alpha$ -частицы с кинетической энергией  $E_\alpha$  из ядра радиусом  $R_0$  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  $\alpha$ -распада записывается следующим образом:



Другими словами, заряд дочернего ядра в случае  $\alpha$ -распада уменьшается на 2, а массовое число на 4 соответствующие единицы. Дочерний продукт  $\alpha$ -распада перемещается в таблице Менделеева на 2 клетки влево. Примером  $\alpha$ -распада может служить превращение Ra в Rn (эманация Ra):



Альфа-распад часто сопровождается  $\gamma$ -излучением с энергией  $E_\gamma$  от десятков до первых сотен кэВ. Возникновение  $\gamma$ -лучей связано с *тонкой структурой*  $\alpha$ -спектра, сущность которого заключается в том, что часть материнских ядер испускает  $\alpha$ -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  $\gamma$ -излучения сравнительно небольшой энергии и интенсивности.

При прохождении через вещество энергия  $\alpha$ -частицы расходуется в основном на ионизацию и возбуждение атомов. Вследствие большой начальной энергии при столкновении с молекулами поглощающей среды  $\alpha$ -частица образует на длине своего пробега (трека) сотни тысяч пар ионов. В этом смысле говорят о большой ионизирующей способности  $\alpha$ -частиц. Оценим количество пар ионов, которые образуются на длине трека  $\alpha$ -частицы при распаде ядер  ${}_{84} \text{Po}^{210}$ . Имея в виду, что  $E_\alpha^{\text{Po}} = 5,3$  МэВ, а энергия, затрачиваемая на образование одной пары ионов, составляет  $\sim 30$  эВ, имеем около 175 тысяч эффектов ионизации. Из-за относительно малой величины энергии, затрачиваемой  $\alpha$ -частицей на один акт ионизации,  $\alpha$ -частица после взаимодействия с атомом не меняет направления своего переноса, ее траектория движения в веществе является прямолинейной.

Отличительной способностью  $\alpha$ -частиц является их малая проникающая способность. В зависимости от начальной энергии пробег  $\alpha$ -частиц в воздухе составляет несколько сантиметров и может быть найден из следующей эмпирической формулы:

$$R_\alpha(E) = 0,316 E_\alpha^{3/2}, \quad (1.3)$$

где  $E_\alpha$  - энергия  $\alpha$ -частицы, МэВ;

$R_\alpha(E)$  - пробег  $\alpha$ -частицы в воздухе, см.

В твердом веществе пробег еще меньше, измеряется микронами и может быть найден с помощью эмпирической формулы Брегга-Климэна:

$$L_\alpha(E) = 3,2 \cdot 10^{-4} R_\alpha(E) \frac{\sqrt{A}}{\rho}, \quad (1.4)$$

где  $A$  и  $\rho$  - соответственно атомный вес и плотность среды переноса  $\alpha$ -частицы с энергией  $E$ .

Поскольку начальная энергия вылета  $\alpha$ -частиц для данного типа  $\alpha$ -излучателя постоянна, то длина их пробега в каждом конкретном веществе является также постоянной величиной. Между длиной пробега  $\alpha$ -частиц (их энергией) и постоянной распада  $\alpha$ -излучателей  $\lambda$  существует тесная связь. Согласно правилу (закону) Гейгера-Неттола эта связь выражается следующим образом:

$$\lg \lambda = A \lg R_\alpha + B, \quad (1.5)$$

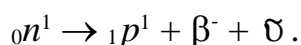
где  $A$  и  $B$  - коэффициенты, несколько отличающиеся для  $\alpha$ -излучателей семейств урана и тория.

Ионизация и возбуждение  $\alpha$ -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  $\alpha$ -частиц является сернистый цинк, активированный серебром  $ZnS(Ag)$ .

### 1.3.2. Бета-распад

Различают три разновидности  $\beta$ -распада: электронный, позитронный и электронный захват ( $K$ -захват).

**Электронный  $\beta$ -распад ( $\beta^-$ -распад).** Заключается в ядерном превращении нейтрона в протон по следующей схеме:



Энергия  $\beta^-$ -распада ( $E_\beta^{\max}$ ) распределяется сложным (случайным) образом между электроном и антинейтрино, поэтому энергетический спектр  $\beta^-$ -излучения в отличие от  $\alpha$ -спектра, является непрерывным (рис. 1.2), причем

максимум кривой распределения  $\beta$ -частиц по энергиям приходится на энергию, составляющую примерно треть от  $E_{\beta}^{\max}$ .

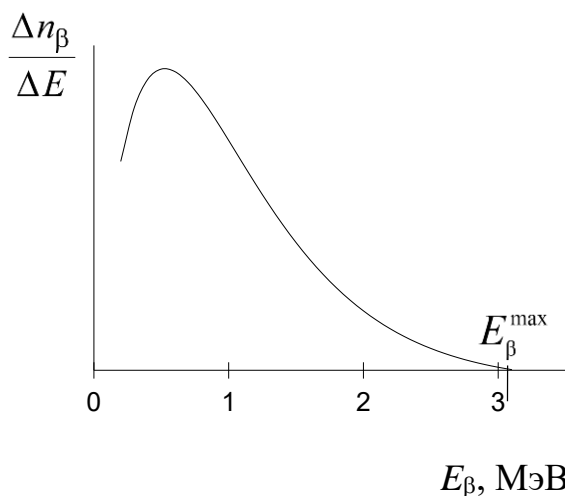
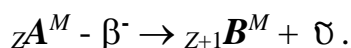


Рис. 1.2

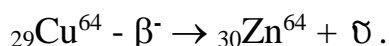
Часть дочерних ядер при своем образовании оказывается на промежуточных энергетических уровнях и при переходе на основной уровень испускают  $\gamma$ -лучи квантованных линий.

В результате электронного  $\beta^-$ -распада образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но его порядковый номер будет на единицу больше.

Схему  $\beta^-$ -распада можно представить следующим образом:



По этой схеме распадаются не только естественные радионуклиды, но и искусственно-радиоактивные изотопы, например:



Представление о частицах, не обладающих ни зарядом, ни массой покоя, было введено в 1930 г. Паули для объяснения непрерывности  $\beta$ -спектра; для таких частиц Ферми предложил термин «нейтрино» («маленький нейтрон», «нейтрончик»). Впоследствии была предложена концепция антинейтрино  $\bar{\nu}$ , согласно которой нейтрино  $\nu$  испускается при  $\beta$ -распаде одновременно с позитроном, а  $\bar{\nu}$  — вместе с электроном. Нейтрино и  $\bar{\nu}$  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  $\sigma \approx 10^{-44} \text{ см}^2$ , что соответствует среднему пробегу в концентрированной среде ( $n_a \sim 10^{22} \text{ атомов/см}^3$ ), равному  $n_a \sigma \approx 10^{17} \text{ км}$ .

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.

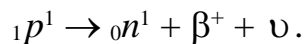
При прохождении электронов через вещество их энергия в основном расходуется на ионизацию и на возбуждение атомов. При больших энергиях электронов значительная ее часть затрачивается на образование электромагнитного излучения, называемого *тормозным*. Последнее связано с тем, что, в отличие от  $\alpha$ -частиц, электроны взаимодействуют как с электронными оболочками атомов, так и с их ядрами. Так как массы взаимодействующих  $\beta$ -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  $\beta$ -спектра  $E_{\max}$  существуют следующие эмпирические зависимости:

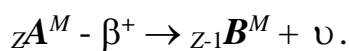
$$\begin{cases} R_m = 0,407 E_{\max}^{1,38}, & E_{\max} \leq 0,8 \text{ МэВ} \\ R_m = 0,54 E_{\max}, & E_{\max} > 0,8 \text{ МэВ}, \end{cases} \quad (1.6)$$

где  $R_m$  - массовый пробег, г/см<sup>2</sup>;  
 $E_{\max}$  - энергия электронов, МэВ.

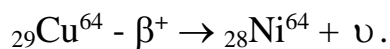
**Позитронный  $\beta$ -распад ( $\beta^+$ -распад).** Заключается в ядерном превращении протона в нейтрон по следующей схеме:



В результате позитронного  $\beta$ -распада образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но с порядковым номером на единицу меньше:



Пример  $\beta^+$ -распада для искусственно-радиоактивного изотопа  ${}_{29}\text{Cu}^{64}$ :



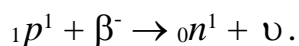
Так же, как и в случае  $\beta^-$ -распада, энергия позитронного распада  $E_{\max}$  распределяется случайным образом между позитроном и нейтрино, поэтому энергетический спектр позитронного распада непрерывен.

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.

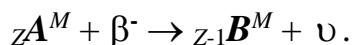
Позитрон, как и все античастицы, недолговечен. При взаимодействии позитрона с электроном возможно взаимное «уничтожение» этих частиц. В этом смысле говорят об *аннигиляции* позитрона. При аннигиляции позитрона и электрона возникают кванты электромагнитного поля. Число  $\gamma$ -квантов при аннигиляции 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  $\beta^+$ -распад обычно сопровождается так называемого аннигиляционным  $\gamma$ -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 Си по искусственно-радиоактивному изотопу  $^{64}\text{Cu}$ . В схеме его распада имеется позитронное излучение, поэтому присутствие меди обнаруживается по  $\gamma$ -лучам с энергией 511 кэВ.

**Электронный захват (K-захват).** Третья разновидность  $\beta$ -распада – 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:



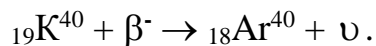
В результате электронного захвата образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но с порядковым номером на единицу меньше:



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 K-оболочка расположена близко к ядру. Наряду с захватом электрона из K-оболочки (K-захват) значительно реже наблюдается захват электрона из L-оболочки (L-захват), M-оболочки (M-захват) и т. д.

Своеобразный характер процесса ЭЗ (не испускание, а захват электрона атомом) приводит к тому, что в случае ЭЗ постоянная распада  $\lambda$  оказывается в некоторой зависимости от внешних условий.

Примером  $K$ -радиоактивного ядра является изотоп  ${}_{19}\text{K}^{40}$ , захватывающий  $K$ -электрон и превращающийся в ядро  ${}_{18}\text{Ar}^{40}$  по схеме:



Нейтрино, образующееся по этой схеме, отличается от нейтрино, связанного с позитронным излучением ( $\beta^+$ -распадом) своей монохроматичностью (моноэнергетичностью).

Ядерное превращение калия в аргон лежит в основе так называемого  $K$ - $\text{Ar}$ -метода, который используется для определения абсолютного возраста калийсодержащих горных пород по количеству накопившегося аргона.

### 1.3.3. Изомерный переход

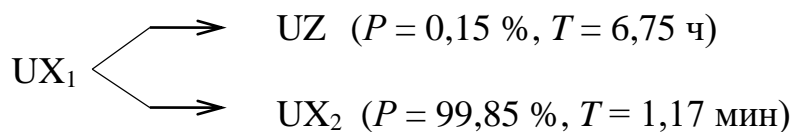
Один из видов ядерных превращений, представляющий собою переход ядра из *метастабильного* состояния в *основное*. Под метастабильным состоянием понимается такое возбужденное состояние ядра, период «высвечивания» которого по крайней мере на несколько порядков больше периода высвечивания при простом возбуждении 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  $\gamma$ -излучением. В отдельных случаях, кроме  $\gamma$ -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  $\text{UZ}$  ( ${}_{91}\text{Pa}^{234}$ ), в точности совпадающее по номеру и массе с изотопом  $\text{UX}_2$ , но отличающееся от него радиоактивными

свойствами. Оба изомера получаются с разной вероятностью  $P$  в результате  $\beta^-$ -распада одного и того элемента  $UX_1$  ( ${}_{90}\text{Th}^{234}$ ):



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  ${}_{35}\text{Br}^{80}$  характеризуется двумя периодами полураспада: 18 мин и 4,4 ч. Существование у одного ядра двух периодов полураспада можно понять, если предположить, что ядро  ${}_{35}\text{Br}^{80}$  может возникать в двух изомерных состояниях: основном и возбужденном долгоживущем (метастабильном).

Стабильный (материнский) изотоп золота  ${}_{79}\text{Au}^{197}$  в результате бомбардировки  $\gamma$ -квантами образует по ядерной реакции ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ) дочерний продукт  ${}_{79}\text{Au}^{197m}$  (метастабильный), который в отличие от материнского является радиоактивным с периодом полураспада 7,2 с. Изомерный переход ядер  ${}_{79}\text{Au}^{197m}$  в основное состояние происходит путем испускания  $\gamma$ -квантов с энергий 279 кэВ. Регистрируя интенсивность  $\gamma$ -излучения, связанного с изомером  ${}_{79}\text{Au}^{197m}$ , 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,  ${}_{92}\text{U}^{235}$ ):  $Z_U = Z_1 + Z_2$ ;  $A_U \cong A_1 + A_2$ . 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  $\varepsilon$  для урана:

$$Q_U = \Delta \varepsilon A,$$

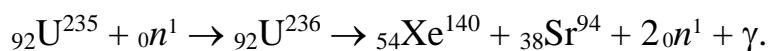
где  $\Delta \varepsilon = \bar{\varepsilon} - \varepsilon$ ;  $A$  – массовое число делящегося ядра.

Так как  $\varepsilon$  для ядер середины периодической системы примерно на 0,8 МэВ больше, чем  $\varepsilon$  для  ${}_{92}\text{U}^{235}$ , получим:  $Q_U = 235 \cdot 0,8 \approx 200$  МэВ.

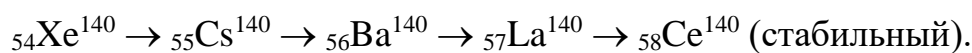
Подавляющая часть энергии деления проявляется в виде кинетической энергии осколков деления  $Q_f$ . Образующиеся при делении осколки являются радиоактивными ( $\beta$ -излучателями) и могут испускать *нейтроны деления*. Последнее обстоятельство определяет то, что процесс деления при определенных условиях может стать самоподдерживающимся с непрерывным выделением энергии. В этом и состоит основной принцип получения атомной энергии. Важнейшими материалами, испытывающими деление, являются:  ${}_{92}\text{U}^{235}$ ,  ${}_{92}\text{U}^{233}$  и  ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ . Частицы с очень высокими энергиями могут вызывать деление и в других материалах (например, ядра  ${}_{92}\text{U}^{238}$  делятся при их облучении быстрыми нейтронами).

В результате деления ядра испускаются *мгновенные* и *запаздывающие* нейтроны. Первые из них составляют  $\sim 99\%$  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  ${}_{92}\text{U}^{235}$  в природных средах.

Механизм деления обычно объясняется с помощью *капельной модели* ядра [41]. Схема деления ядра  ${}_{92}\text{U}^{235}$  может быть представлена следующим образом:



Осколки деления являются  $\beta$ -излучателями. В частности,  ${}_{54}\text{Xe}^{140}$  испытывает следующую цепочку  $\beta$ -превращений:



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  ${}^8\text{O}^{16}$  (известно 166 нуклидов), четно-нечетный  ${}^4\text{Be}^9$  (55), нечетно-четный  ${}^3\text{Li}^7$  (47), нечетно-нечетный  ${}^5\text{B}^{10}$  (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:  ${}^2\text{He}^4$ ,  ${}^8\text{O}^{16}$ ,  ${}^{12}\text{Mg}^{16}$ ,  ${}^{14}\text{Si}^{28}$ ,  ${}^{20}\text{Ca}^{40}$ ,  ${}^{26}\text{Fe}^{56}$ , 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:  ${}^1\text{H}^2$ ,  ${}^3\text{Li}^6$ ,  ${}^5\text{B}^{10}$ ,  ${}^7\text{N}^{14}$ ,  ${}^{25}\text{V}^{50}$ . Все остальные известные нечетно-нечетные ядра с  $A > 14$  (включая  ${}^{19}\text{K}^{40}$ )  $\beta$ -радиоактивны.

Все тяжелые изотопы с  $Z > 83$  радиоактивны, многие из них испытывают  $\alpha$ -распад. Они группируются в четыре радиоактивных ряда: ториевый, нептуниевый, урановый и актиноурановый (табл. 1.1).

Таблица 1.1

### Четыре типа радиоактивных рядов

Ряд	Родоначалник ряда	Конечный продукт	Признак делимости на 4	Тип ядра
Ториевый	${}_{90}\text{Th}^{232}$	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	$4n$	Четно-четный
Нептуниевый	${}_{93}\text{Np}^{237}$	${}_{83}\text{Bi}^{209}$	$4n + 1$	Нечетно-четный
Урановый	${}_{92}\text{U}^{238}$	${}_{82}\text{Pb}^{206}$	$4n + 2$	Четно-четный
Актиниоурановый	${}_{92}\text{U}^{235}$	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	$4n + 3$	Четно-нечетный

В современную эпоху на Земле отсутствует нептуниевый ряд. Родоначалник этого ряда  ${}_{93}\text{Np}^{237}$  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 называемые *магические числа*: 2, 8, 20, 50, 82, 126, относящиеся как к числу нейтронов, так и протонов в ядре.

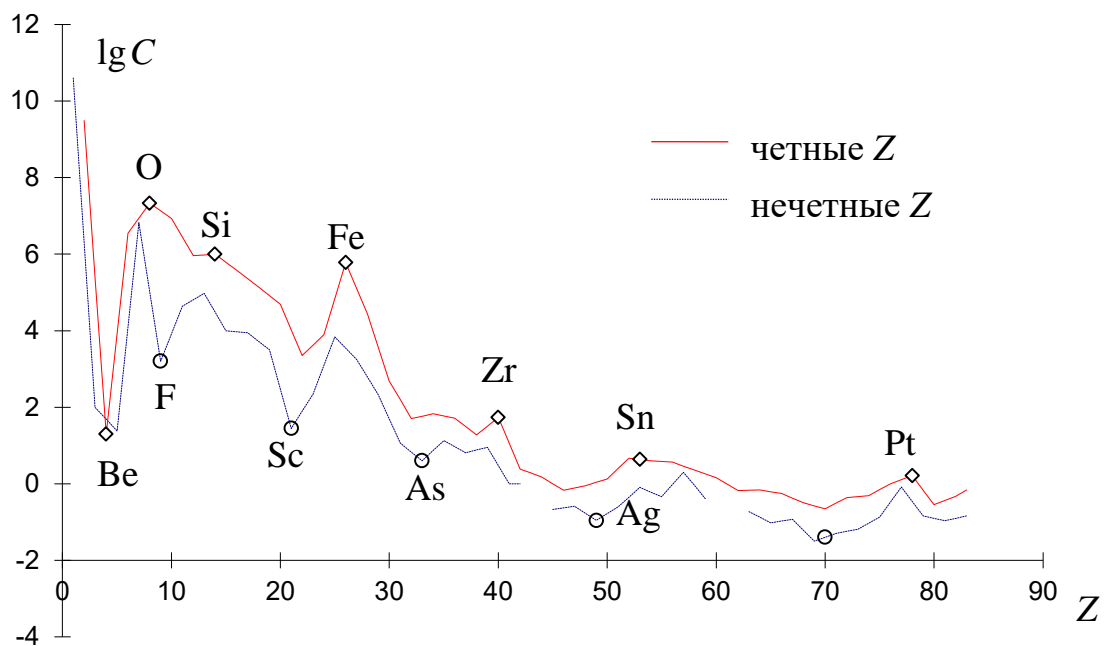


Рис. 1.3

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:

$$-\Delta N = \lambda N \Delta t, \quad (1.7)$$

где  $\Delta N$  – число атомов, распадающихся за время между  $t$  и  $\Delta t$ ;

$N$  – число атомов еще не распавшихся к моменту времени  $t$ ;

$\lambda$  – *постоянная распада*, характеризующая вероятность ядерного превращения, отнесенная к одному ядру в единицу времени.

В форме дифференциального уравнения выражение (1.7) записывается так:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N. \quad (1.8)$$

Из соотношения (1.8) видно, что количество ядерных превращений, происходящих в активном препарате, пропорционально начальному количеству радиоактивных ядер. Перепишем (1.8) в следующем виде:

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0, \text{ или } \frac{dN}{N} + \lambda dt = 0. \quad (1.9)$$

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:

$$\ln N + \lambda t = \ln N_0, \text{ откуда}$$

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t). \quad (1.10)$$

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:

$$0,5 = e^{-\lambda T}, \text{ откуда } T = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Параметр  $T$  имеет размерность времени и носит название *периода полураспада*. Отношение  $N(t)/N_0$  часто называют *функцией выживания*. Учитывая связь между  $\lambda$  и  $T$ , запишем для функции выживания:

$$\frac{N(t)}{N_0} = \exp\left(-\ln 2 \frac{t}{T}\right).$$

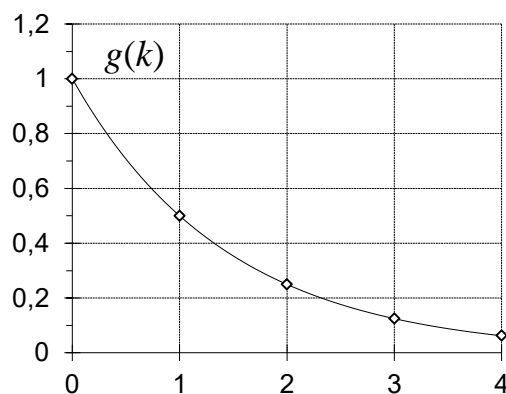
Обозначим  $k = t/T$ , тогда

$$g(k) = \frac{N(k)}{N_0} = 2^{-k}. \quad (1.11)$$

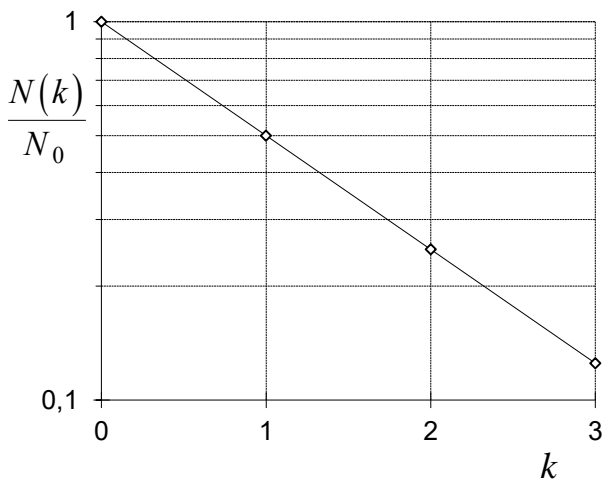
Выражение (1.11) представляет одну из форм записи закона распада. На рис. 1.4 представлено поведение функции выживания в зависимости от параметра  $k$ , представляющего собою время распада в нормировке к периоду полураспада данного радионуклида.

Если зависимость (1.11) построить в полулогарифмическом мас-

Рис. 1.4



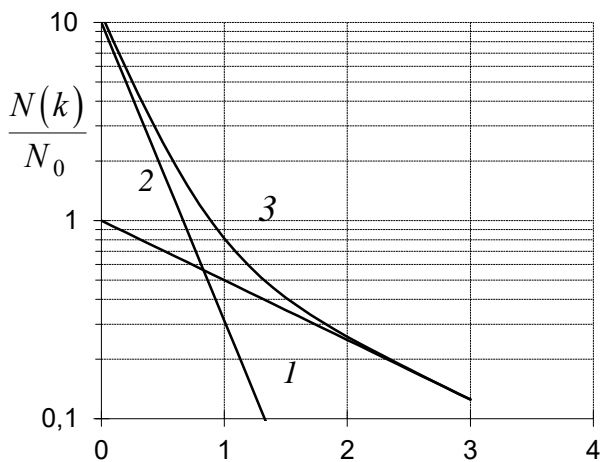
$k$



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 присутствуют не один, а несколько радио-

Рис. 1.5

нуклидов, например 1 и 2, отличаю-



щихся между собою по периоду полураспада  $T$ , то результирующая функция 3 в полупологарифмическом 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-

Рис. 1.6

сколько

Если функция  $N(t)$  известна, например, получена по данным измерений активности радионуклида во времени, то его период полураспада может быть найден из следующей зависимости:

$$T = \ln 2 (\ln a_1 - \ln a_2)^{-1} \Delta t, \quad (1.12)$$

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  $1,40 \cdot 10^{10}$  лет для  ${}_{90}\text{Th}^{232}$  до  $2,09 \cdot 10^{-7}$  с для  $\text{ThC}'$  ( ${}_{84}\text{Po}^{212}$ ).

### 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  $t dN$  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  $\infty$ , то для среднего времени жизни  $\tau$  группы атомов  $N_0$  можно записать:

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{N_0} t dN, \text{ или} \quad (1.13)$$

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt. \quad (1.14)$$

Интеграл (1.14) легко берется по частям, поэтому, опуская промежуток, запишем:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} \cong 1,44T. \quad (1.15)$$

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  $\bar{N}$  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

$$p(n) = \frac{\bar{N}^n}{n!} e^{-\bar{N}}. \quad (1.16)$$

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  $\bar{N}$ :

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{N}}} \exp\left[-\frac{(n - \bar{N})^2}{2\bar{N}}\right]. \quad (1.17)$$

Величина среднеквадратического отклонения  $\sigma_n$ , характеризующая разброс значений  $n$  относительно среднего  $\bar{N}$ , рассчитывается по формуле

$$\sigma_n = \pm \sqrt{N}. \quad (1.18)$$

В соответствии с этим относительное среднеквадратическое отклонение  $\delta_n$  определяется выражением

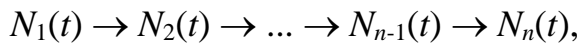
$$\delta_n = \frac{\sigma_n}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}. \quad (1.19)$$

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  $\sigma_n$ , 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.

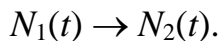
#### 1.4.2. Последовательные ядерные превращения

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



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



Если обозначить через  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  постоянные распада материнского и дочернего радионуклида, то прирост дочерних ядер  $dN_2$  за время  $dt$  составит

$$dN_2 = \lambda_1 N_1 dt - \lambda_2 N_2 dt, \quad (1.20)$$

откуда скорость прироста составит

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2. \quad (1.21)$$

Перепишем (1.21) с учетом того, что  $N_1(t) = N_{01} \exp(-\lambda_1 t)$ :

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \quad (1.22)$$

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

$$N_2(t) = N_2'(t) + N_2''(t), \quad (1.23)$$

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:

$$-\lambda_1 B \exp(-\lambda_1 t) + \lambda_2 B \exp(-\lambda_1 t) = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \quad (1.24)$$

Из (1.24) легко находится постоянная интегрирования:

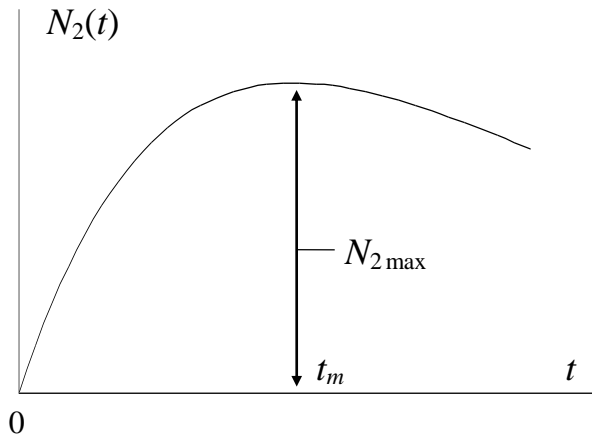
$$B = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01}.$$

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  $N_2(t)$ :

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} [\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)]. \quad (1.25)$$



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:

Рис. 1.7

$$\frac{d}{dt}[N_2(t)] = 0, \text{ откуда}$$

$$-\lambda_1 \exp(-\lambda_1 t_m) + \lambda_2 \exp(-\lambda_2 t_m) = 0, \text{ и}$$

$$t_m = \frac{\ln \lambda_2 - \ln \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}. \quad (1.26)$$

Рассмотрим поведение  $N_2(t)$  для частного случая, когда период полураспада материнского изотопа оказывается много больше периода полураспада дочернего продукта, т. е.  $\lambda_1 \ll \lambda_2$ . С учетом отмеченного неравенства формулу (1.25) можно переписать:

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01} \exp(-\lambda_1 t) [1 - \exp(-\lambda_2 t)], \text{ или} \quad (1.27)$$

$$\lambda_2 N_2(t) = \lambda_1 N_1(t) [1 - \exp(-\lambda_2 t)], \lambda_1 \ll \lambda_2. \quad (1.28)$$

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:

$$A_2(t) = A_1(t) [1 - \exp(-\lambda_2 t)]. \quad (1.29)$$

Рассмотрим поведение функции  $A_2(t)$  в начальные моменты времени (до достижения  $t_m$ ), например, когда  $t < T_2$  или  $t \ll T_1$ . В этом случае произведение  $N_{01} \exp(-t \ln 2 / T_1) \approx N_{01}$ , т. е. количество ядер материнского изотопа за промежутки времени, много меньший, чем его период полураспада, практически не изменяется. Обозначим через  $A_0 = \lambda_1 N_{01}$  начальную активность материнского вещества, тогда

$$\frac{A_2(t)}{A_0} = 1 - \exp(-\lambda_2 t). \quad (1.30)$$

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  $t \gg T_2$ , непосредственно из (1.27) вытекает, что

$$A_2(t) = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \quad (1.31)$$

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 идет 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:

$$\lambda_1 N_1(t) = \lambda_2 N_2(t). \quad (1.32)$$

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

$$\frac{N_2(t)}{N_1(t)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \text{const}. \quad (1.33)$$

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 называемому подвижному равновесию, что имеет место, например, при установлении 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 торием ( $T = 54,5$  с). То же самое относится к AcA ( $T = 1,08 \cdot 10^{-3}$  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.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n = \text{const} . \quad (1.34)$$

Из (1.34) видно, что при устойчивом радиоактивном равновесии число атомов  $N_1, N_2, \dots, N_n$  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  ${}_{92}\text{U}^{238}$  и  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$  равными  $4,47 \cdot 10^9$  и 1602 лет, соответственно, получим:

$$m_{\text{Ra}} = m_{\text{U}} \frac{\lambda_{\text{U}} A_{\text{Ra}}}{\lambda_{\text{Ra}} A_{\text{U}}}, \quad (1.35)$$

где  $A_{\text{Ra}}, A_{\text{U}}$  – массовые числа радия и урана.

Из (1.35) следует, что один грамм U соответствует активности (количеству распадов в единицу времени)  $3,4 \cdot 10^{-7}$  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

$$K_{\text{pp}} = \frac{\alpha}{\alpha_0} 100 \%, \text{ или} \quad (1.36)$$

$$K_{\text{pp}} = \frac{Q_{\text{Ra}}}{Q_{\text{U}}} \frac{100 \%}{3,4 \cdot 10^{-7}},$$

где  $\alpha$  – отношение Ra к U в исследуемом образце;

$\alpha_0$  – равновесное соотношение между Ra и U ( $3,4 \cdot 10^{-7}$ );

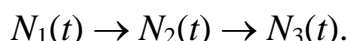
$Q_{\text{Ra}}, Q_{\text{U}}$  – содержания Ra и U в исследуемом образце.

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  $\infty$ . Сведения о состоянии радиоактивного равновесия имеют важное значение при интерпретации результатов  $\gamma$ -измерений, например при количественных определениях U по результатам  $\gamma$ -каротажа.

### Случай трех веществ

Допустим, что имеется цепочка последовательных превращений



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:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3, \text{ или} \quad (1.37)$$

$$\frac{dN_3}{dt} + \lambda_3 N_3 = \lambda_2 N_2. \quad (1.38)$$

Имея в виду, что количество ядер  $N_2$  зависит от времени и определяется формулой (1.25), получим:

$$\frac{dN_3}{dt} + \lambda_3 N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} [\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)]. \quad (1.39)$$

Будем искать функцию  $N_3(t)$  в виде суммы

$$N_3(t) = N_3'(t) + N_3''(t), \quad (1.40)$$

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

$$\frac{dN_3''}{dt} = -\lambda_1 B \exp(-\lambda_1 t) - \lambda_2 C \exp(-\lambda_2 t), \text{ имеем:}$$

$$B(\lambda_3 - \lambda_1) \exp(-\lambda_1 t) - C(\lambda_3 - \lambda_2) \exp(-\lambda_2 t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} [\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)],$$

откуда легко находятся постоянные интегрирования  $B$  и  $C$ :

$$B = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} N_{01}, \quad C = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} N_{01}.$$

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

$$N_1(t) \rightarrow N_2(t) \rightarrow \dots \rightarrow N_{n-1}(t) \rightarrow N_n(t).$$

Будем считать, что в начальный момент времени  $t = 0$ ,  $N_1(0) \neq 0$ ,  $N_2(0) = N_3(0) = \dots = N_n(0) = 0$ . Имея в виду особенности правых частей функций  $N_2(t)$  и  $N_3(t)$ , формулы (1.25) и (1.41), запишем для  $N_n(t)$ :

$$N_n(t) = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1} N_{01} \left[ \frac{\exp(-\lambda_1 t)}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} + \frac{\exp(-\lambda_2 t)}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} + \dots + \frac{\exp(-\lambda_n t)}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} \right]. \quad (1.42)$$

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:

$$\lim \frac{N_n}{N_1} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)}. \quad (1.43)$$

Если же период полураспада материнского (1-го) вещества оказывается настолько большим, что  $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ,  $\lambda_1 \ll \lambda_3$ , ...,  $\lambda_1 \ll \lambda_n$ , то в этом случае между материнским и дочерними радионуклидами устанавливается вековое равновесие, которое характеризуется равенством активностей:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n.$$

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  ${}_{84}\text{Po}$  до  ${}_{92}\text{U}$ . Встречающиеся в природе  ${}_{81}\text{Tl}$ ,  ${}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}_{83}\text{Bi}$  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. распростран., %	Период полураспада	Схема распада	Дочернее ядро	Энергия излучений, МэВ
${}_{19}\text{K}^{40}$	0,0119	$1,27 \cdot 10^9$ лет	$\beta^-$ -распад (89%) <i>K-захват</i> (11%)	${}_{20}\text{Ca}^{40}$ ${}_{19}\text{Ar}^{40}$	$\beta_m$ - 1,325 $\gamma$ - 1,460
${}_{37}\text{Rb}^{87}$	27,5	$4,7 \cdot 10^{10}$ лет	$\beta^-$ -распад	${}_{38}\text{Sr}^{87}$	$\beta_m$ - 0,274 $\gamma$ - 0,394
${}_{49}\text{In}^{115}$	95,72	$6,0 \cdot 10^{14}$ лет	$\beta^-$ -распад	${}_{49}\text{Sn}^{115}$	$\beta_m$ - 0,6
${}_{57}\text{La}^{138}$	0,089	$1,1 \cdot 10^{11}$ лет	$\beta^-$ -распад (6%) <i>K-захват</i> (94%)	${}_{58}\text{Ce}^{138}$ ${}_{56}\text{Ba}^{138}$	$\beta_m$ - 1,0 $\gamma$ - 0,81, 1,43
${}_{62}\text{Sm}^{147}$	14,97	$1,2 \cdot 10^{11}$ лет	$\alpha$ -распад	${}_{60}\text{Nd}^{143}$	$\alpha$ - 2,18
${}_{71}\text{Lu}^{176}$	2,59	$2,1 \cdot 10^{10}$ лет	$\beta^-$ -распад (33%) <i>K-захват</i> (67%)	${}_{72}\text{Hf}^{176}$ ${}_{70}\text{Yb}^{176}$	$\beta_m$ - 0,43 $\gamma$ - 0,19, 0,31
${}_{75}\text{Re}^{187}$	66,93	$1,2 \cdot 10^{11}$ лет	$\beta^-$ -распад	${}_{76}\text{Os}^{187}$	$\beta_m < 0,008$ $\gamma$ - нет
${}_{78}\text{Pt}^{190}$	0,012	$6,9 \cdot 10^{11}$ лет	$\alpha$ -распад	${}_{76}\text{Os}^{186}$	$\alpha$ - 3,3

В 1906 г. Кэмпбелл и Вуд обнаружили слабую  $\beta^-$ -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  ${}_{19}\text{K}^{40}$ , распадающегося по схеме  $\beta^-$ - и *K*-захвата. Радиоактивным изотопом рубидия оказался  ${}_{37}\text{Rb}^{87}$ , испускающий  $\beta^-$ -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,  $\gamma$ -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.

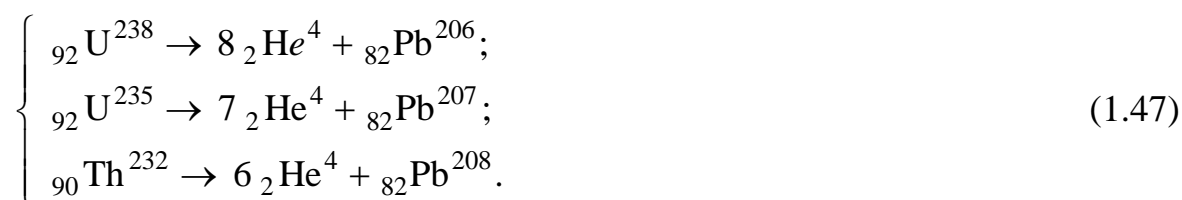
$$N_0 = N + N_{ст}. \quad (1.44)$$

Учитывая, что  $N = N_0 \exp(-\lambda t)$ , имеем:

$$\frac{N_{ст}}{N} = \exp(\lambda t) - 1, \text{ откуда} \quad (1.45)$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 + \frac{N_{ст}}{N} \right). \quad (1.46)$$

Первые методы определения абсолютного возраста были основаны на использовании цепочки последовательных превращений U, Th и актиноурана в соответствующие стабильные изотопы  ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ ,  ${}_{82}\text{Pb}^{208}$  и  ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ :



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

$$t = 1,155 \frac{1}{\lambda_{U^{238}}} \frac{C_{Pb}}{C_U}, \quad (1.48)$$

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:

$$t = 7600 \frac{C_{Pb}}{0,36C_{Th} + C_U}. \quad (1.49)$$

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]:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \frac{1}{\lambda_{U^{238}}} \ln \left( 1 + 1,155 \frac{C_{Pb^{206}}}{C_{U^{238}}} \right); \\ t = \frac{1}{\lambda_{U^{235}}} \ln \left( 1 + 1,135 \frac{C_{Pb^{207}}}{C_{U^{235}}} \right); \\ t = \frac{1}{\lambda_{Th^{232}}} \ln \left( 1 + 1,115 \frac{C_{Pb^{208}}}{C_{Th^{232}}} \right). \end{array} \right. \quad (1.50)$$

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].

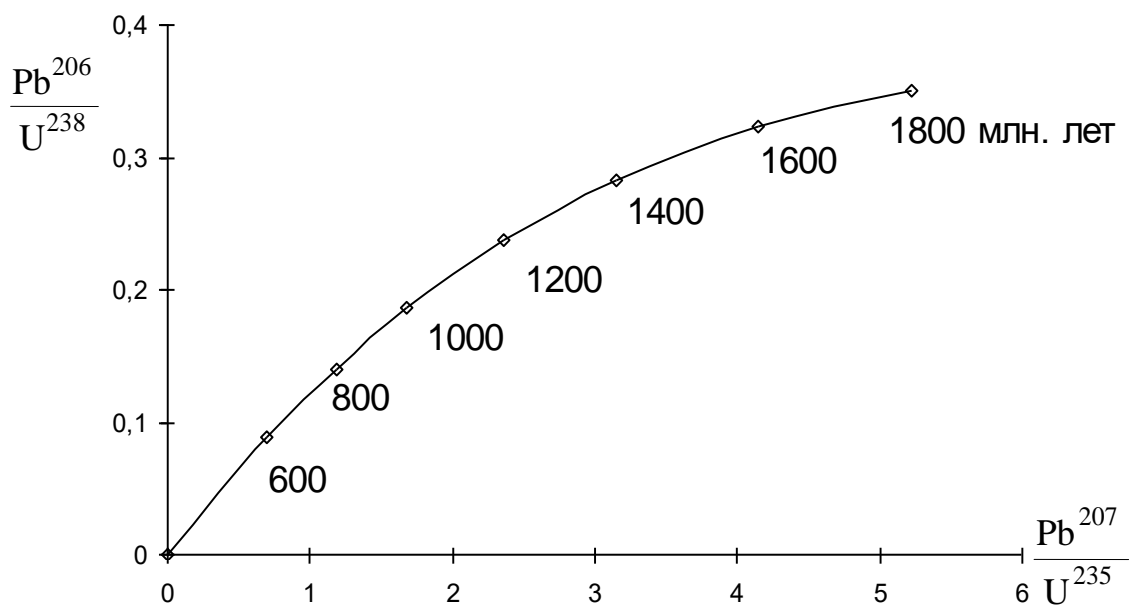


Рис. 1.9

Кроме указанных методов, для датировки природных образований используются также К-Аг-, 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  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ . 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.

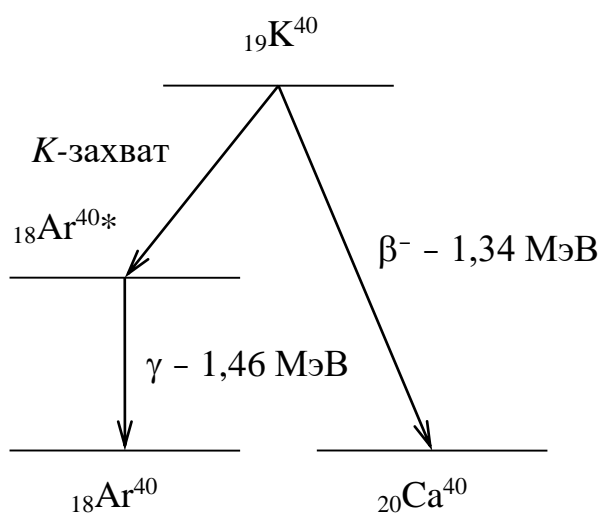
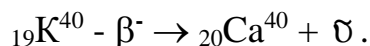


Рис. 1.10

Природная смесь К состоит из двух стабильных изотопов  $^{19}K^{39}$  (98,03 %),  $^{19}K^{41}$  (6,91 %) и одного радиоактивного -  $^{19}K^{40}$  (0,0119 %). Радиоактивный изотоп калия распадается путем  $\beta^-$ -превращения (с вероятностью 89 %) и превращения типа К-захвата (11 %), сопровождающегося  $\gamma$ -излучением с энергией 1,46 МэВ (рис. 1.10). В результате К-захвата по схеме  $^{19}K^{40} + \beta^- \rightarrow ^{18}Ar^{40} + \nu$

образуется возбужденное ядро  ${}_{18}\text{Ar}^{40*}$ , которое переходит в основное состояние после испускания  $\gamma$ -кванта с энергией 1,46 МэВ.

Постоянная распада  $\lambda_e$ , соответствующая явлению  $e$ -захвата, для  ${}_{19}\text{K}^{40}$  составляет  $0,585 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ . Бета-минус распад  ${}_{19}\text{K}^{40}$  приводит к образованию стабильного изотопа  ${}_{20}\text{Ca}^{40}$  по схеме



Постоянная  $\beta^-$ -распада  ${}_{19}\text{K}^{40}$  составляет  $\lambda_\beta = 4,72 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ .

При расчетах значение абсолютного возраста  $t$  может быть получено из следующего соотношения:

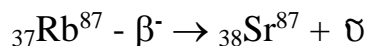
$$t = \frac{1}{\lambda_\beta + \lambda_e} \ln \left( 1 + \frac{\lambda_\beta + \lambda_e}{\lambda_e} \frac{C_{\text{Ar}^{40}}}{C_{\text{K}^{40}}} \right). \quad (1.51)$$

Надежность датировки пород с помощью К-Аг-метода во многом зависит от скорости утечки образующегося Аг 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  ${}_{37}\text{Rb}^{87}$   $\beta^-$ -радиоактивен и распадается по схеме



с периодом полураспада  $T = 4,7 \cdot 10^{10}$  лет. В природных условиях встречаются четыре стабильных изотопа стронция:  ${}_{38}\text{Sr}^{84}$  (0,56 %),  ${}_{38}\text{Sr}^{86}$  (9,86 %),  ${}_{38}\text{Sr}^{87}$  (7,02 %) и  ${}_{38}\text{Sr}^{88}$  (82,56 %).

Данные по относительной распространенности стабильных изотопов Sr были получены после того, как Гольдшмидт в 1937 г. высказал предположение, что  $\beta^-$ -распад  ${}_{37}\text{Rb}^{87}$  с образованием  ${}_{38}\text{Sr}^{87}$  можно использовать в качестве

геохронометра. Поскольку изотоп  $^{38}\text{Sr}^{87}$  может быть как естественным, так и радиогенным (за счет распада  $^{37}\text{Rb}^{87}$ ), то при расчете геологического возраста следует сопоставлять между собою массовые доли радионуклида  $^{37}\text{Rb}^{87}$  и радиогенной «добавки»  $^{38}\text{Sr}^{87}$ .

Время  $t$ , необходимое для получения имеющегося в данном образце количества радиогенного  $^{38}\text{Sr}^{87}$ , рассчитывается из соотношения

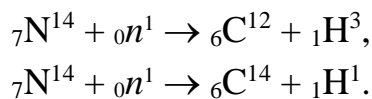
$$t = \frac{1}{\lambda_{\text{Rb}^{87}}} \frac{C_{\text{Sr}^{87}}}{C_{\text{Rb}^{87}}}, \quad (1.52)$$

где  $\lambda_{\text{Rb}^{87}}$  – постоянная распада материнского изотопа  $^{37}\text{Rb}^{87}$ ;

$C_{\text{Rb}^{87}}$ ,  $C_{\text{Sr}^{87}}$  – массовые доли изотопа  $^{37}\text{Rb}^{87}$  и радиогенного  $^{38}\text{Sr}^{87}$ .

**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  $^{14}\text{C}$ , 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  $^{14}\text{N}$  и образовывать  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$ :



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  $^{14}\text{C}$  оказывается заметно выше скорости образования  $^3\text{H}$  (примерно 2,3 атом/с на 1 см<sup>2</sup> поверхности для  $^{14}\text{C}$  и 0,4 атома  $^3\text{H}$  при тех же условиях).

Радиоуглерод  $^{14}\text{C}$  является  $\beta$ -излучателем с периодом полураспада 5570 лет. Максимальная энергия  $\beta$ -частиц составляет 155 кэВ. Если предположить, что интенсивность космического излучения оставалось постоянной за последние десятки тысяч лет, то, исходя из периода полураспада  $^{14}\text{C}$ , можно считать, что к настоящему времени достигнуто равновесие между образующимися и распадающимися ядрами  $^{14}\text{C}$ . Атом радиоуглерода в воздухе довольно быстро окисляется и переходит в двуокись  $\text{C}\hat{1}_2$ .

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  $^{14}\text{C}$

каждый грамм углерода в живом организме испускает примерно 15  $\beta$ -частиц в минуту. Когда жизнедеятельность прекращается, то обрывается и углеродный обмен с атмосферой и биосферой, количество атомов  ${}^6\text{C}^{14}$  в организме не восполняется, происходит лишь их распад с известным периодом. Спустя 5570 лет после прекращения жизнедеятельности, число испускаемых  $\beta$ -частиц на каждый грамм содержащегося в нем С уменьшается вдвое, а спустя два периода полураспада  ${}^6\text{C}^{14}$ , это число уменьшится в 4 раза. Следовательно, измеряя удельную активность  ${}^6\text{C}^{14}$ , 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:

$$t = \frac{1}{\lambda_{\text{C}^{14}}} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right). \quad (1.53)$$

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  ${}^6\text{C}^{14}$  совпал с археологическими данными с точностью  $\pm 10\%$  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 ( $\text{U}^{238}$ ,  $\text{U}^{235}$ ,  $\text{U}^{234}$ ) равен 238,03, плотность урана – 18,9 г/см<sup>3</sup>. 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- ( $\text{U}^{+4}$ ) и 6-валентной ( $\text{U}^{+6}$ ) формах. Основной особенностью U является большая химическая активность и сильная восстановительная способность, особенно ярко проявляющаяся в кислых водных растворах. С кислородом U образует

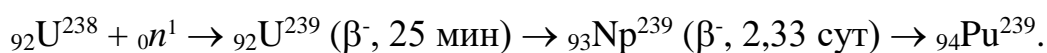
оксиды  $UO_2$ ,  $U_3O_8$ , и  $UO_3$ . Последний оксид в природных условиях без воды обычно не встречается. Галогенные соединения урана неустойчивы и весьма летучи. Сульфатные соединения урана в природе неизвестны. В природных условиях соединения 4-валентного U имеют черный, темно-коричневый и красно-бурый 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:



Изотоп  ${}_{94}Pu^{239}$  был открыт в 1941 г; он является  $\alpha$ -излучателем с периодом полураспада  $2,44 \cdot 10^4$  лет, превращаясь в дочерний продукт  ${}_{92}U^{235}$ .

Изотоп  ${}_{94}\text{Pu}^{239}$  имеет очень большое сечение деления тепловыми нейтронами (738 барн) и испускает при одном акте деления  $\sim 2,9$  нейтрона, что позволяет использовать  ${}_{94}\text{Pu}^{239}$  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  $\text{U}^{235}$  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  $5,0 \text{ г/см}^3$ . 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  $NO_3^-$  легко растворимы, 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 ( $1 \cdot 10^{-10} \%$ ) 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  $1 \cdot 10^{-10} \%$ .

Наиболее распространенный изотоп  ${}_{88}Ra^{226}$  образуется за счет  $\alpha$ -распада иония Io ( ${}_{90}Th^{230}$ ). Изотоп  ${}_{88}Ra^{226}$  является  $\alpha$ -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  $\alpha$ -распада  $Ra^{226}$ . Массовое число 222, атомный номер 86, период полураспада 3,825 сут. Является  $\alpha$ -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  $2,6 \cdot 10^{-15}$  до  $44 \cdot 10^{-15} \%$ . В районах развитого уранового оруденения концентрация Rn в почвенном воздухе может достигать  $10^{-12} \%$ . В атмосферном воздухе

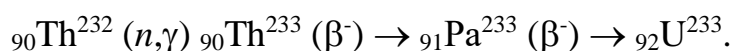
концентрация Rn невелика, примерно на три порядка ниже нормальной концентрации в почвенном воздухе, и составляет  $\sim 4 \cdot 10^{-18}$  %.

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  $11,7 \text{ г/см}^3$ , 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  $(\text{GeLaTh})[\text{PO}_4]$ , торит  $\text{ThSiO}_4$ , 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 Се. Торий может использоваться для получения делящегося материала, которым наряду с  $\text{U}^{235}$ ,  $\text{Pu}^{239}$  является  $\text{U}^{233}$ . Этот изотоп получается по ядерной реакции



**Калий (K).** Среди трех природных изотопов калия только  ${}_{19}\text{K}^{40}$  является радиоактивным с содержанием в естественной смеси 0,0119 % и периодом полураспада  $T = 1,27 \cdot 10^9$  лет. Физико-химические свойства K резко отличаются от свойств других радиоактивных элементов. Прежде всего K распространен в природе в несравненно больших количествах. Кларк K 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  $0,86 \text{ г/см}^3$ .

Из наиболее распространенных K-содержащих минералов, обуславливающих повышенную радиоактивность горных пород, можно назвать сильвин  $\hat{\text{E}}\text{Cl}$ , карналлит, микроклин и ортоклаз. В глинистых минералах

значительная часть  $\hat{E}$  находится в сорбированной форме и прочно связана с ними. Наиболее сильно  $\hat{E}$  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 → полевые шпаты → слюды → магнезиально-железистые минералы → 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 привнесением материала, включая радиоактивные элементы, или этого привнесения 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 называемые 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 $\gamma$ -излучения природных сред

Породы, объекты	Содержание элементов				$\gamma$ -поле $I_\gamma$ , мкР/ч	Парциальные доли ЕРЭ в $I_\gamma$ (%)			Отношения ЕРЭ		
	Ra, мкг/т	U, г/т	Th, г/т	K, %		U $\gamma$	Th $\gamma$	K $\gamma$	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 0,8-1,5	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 0,2-2,6	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 <sup>-4</sup>	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: седиментационно-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  $\gamma$ -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<sup>3</sup> 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  $\lambda$  (с<sup>-1</sup>) к массе  $M$  (г) осуществляется по формуле

$$a = \lambda \frac{N_A}{A} M, \quad (1.54)$$

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 <sup>-6</sup> кг Ra (по $\gamma$ -излучению)
Активность	беккерель (Бк)	кюри (Ки)	1 Ки = 3,7·10 <sup>10</sup> Бк 1 Бк = 2,7·10 <sup>-10</sup> Ки
Массовая доля	кг/кг, % мас.	г/г, % мас.	1 % мас. = 0,01 кг/кг 1 кг/кг = 100 % мас.
Объемная доля	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> , % об.	см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup> , % об.	1 % об. = 0,01 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> 1 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> = 100 % об.
Удельная активность	Бк/кг	Ки/г, Ки/кг	1 Ки/г = 3,7·10 <sup>13</sup> Бк/кг 1 Бк/кг = 2,7·10 <sup>-14</sup> Ки/г
Объемная активность	Бк/м <sup>3</sup>	Ки/л, эман	1 Ки/л = 3,7·10 <sup>13</sup> Бк/м <sup>3</sup> 1 эман = 10 <sup>-10</sup> Ки/л 1 Бк/л = 0,27 эман
Плотность потока ядерных частиц	с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	с <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup>	1 с <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup> = 10 <sup>4</sup> с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup> 1 с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup> = 10 <sup>-4</sup> с <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup>
Энергия	джоуль (Дж)	эВ	1 эВ = 1,602·10 <sup>-19</sup> Дж 1 Дж = 6,24·10 <sup>18</sup> эВ
Плотность потока энергии	Вт/м <sup>2</sup>	эВ/(см <sup>2</sup> ·с)	1 эВ/(см <sup>2</sup> ·с) = 1,602·10 <sup>-15</sup> Вт/м <sup>2</sup> 1 Вт/м <sup>2</sup> = 6,24·10 <sup>14</sup> эВ/(см <sup>2</sup> ·с)
Экспозиционная доза излучения	Кл/кг	рентген (Р)	1 Р = 2,58·10 <sup>-4</sup> Кл/кг 1 Кл/кг = 3,88·10 <sup>3</sup> Р
Мощность экспозиционной дозы излучения	А/кг	Р/с, мкР/ч	1 Р/с = 2,58·10 <sup>-4</sup> А/кг 1 мкР/ч = 0,0717 пА/кг

			1 пА/кг $\cong$ 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  $3,7 \cdot 10^{10}$  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<sup>3</sup>). 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  $c^{-1} \cdot m^{-2}$ , плотность потока энергии – Вт/м<sup>2</sup>. Из-за сложности измерения потока энергии для количественной характеристики рентгеновского и  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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  $n_i$  ( $c^{-1} \cdot m^{-2}$ )

$$I_D = \frac{D}{t} = \sum_{i=1}^K \frac{E_i n_i}{F}, \quad (1.55)$$

где  $E_i$  - энергия  $i$ -й линии в спектре  $\gamma$ -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  $\gamma$ -излучения.

Стандартные образцы состава, аттестованные по массовой доле К, U и Th, изготавливают в виде порошковых препаратов для целей радиометрического анализа, а также в виде насыщенных и ненасыщенных по  $\gamma$ -лучам рудных моделей, используемых для градуирования  $\gamma$ -спектрометров.

Стандартные образцы активности Rn представляют собою водные растворы RaCl<sub>2</sub>, аттестованные по массе Ra с погрешностью 1-3 % отн. Обычно это жидкие радиевые эталоны типа EB-8, EB-9, EB-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 (EB-65). В герметичном сосуде (после предварительного продувания), содержащем водный раствор Ra с массой  $M_{Ra}$  (г), за время  $t$  образуется Rn активностью в Бк:

$$a_{Rn} = 3,7 \cdot 10^{10} M_{Ra} [1 - \exp(-\lambda_{Rn} t)], \quad (1.56)$$

или в кюри (Ки):

$$a_{Rn} = M_{Ra} [1 - \exp(-\lambda_{Rn} t)]. \quad (1.57)$$

В качестве образцовых источников плотности потока  $\alpha$ -частиц используют радиоизотопы Pu<sup>239</sup>, Pu<sup>234</sup>, U<sup>238</sup>;  $\beta$ -частиц – Sr<sup>90</sup> в равновесии с Y<sup>90</sup>; нейтронного излучения – Pu+Be, Cf<sup>252</sup> и др.

Стандартные образцы мощности дозы  $\gamma$ -излучения изготавливают из смеси солей RaS<sub>4</sub> и BaS<sub>4</sub> 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<sub>1-2</sub>, C<sub>41</sub> с массой Ra соответственно 1,0 и 0,1 мг, также ЕР-1 и ЕР-14.

Расчетная мощность дозы (пА/кг)  $\gamma$ -излучения источника массой  $M_{Ra}$  (мг) на расстоянии  $R$  (м) описывается соотношением

$$I_D(R) = 60,2 \frac{M_{Ra}}{R^2}. \quad (1.58)$$

Мощность дозы в микрорентгенах в час (мкР/ч):

$$I_D(R) = 840 \frac{M_{Ra}}{R^2}. \quad (1.59)$$

Сопоставляя между собою (1.58) и (1.59), видно, что  $1 \text{ пА/кг} \cong 14 \text{ мкР/ч}$ .

### 1.6.3. Средства измерения и их метрология

В качестве средств измерения в радиометрической разведке используют радиометры, эманометры,  $\gamma$ -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

$$L = k\sigma_{\phi}, \quad (1.60)$$

где  $\sigma_{\phi}$  - среднеквадратическое отклонение измеряемых значений фона;

$k$  - коэффициент, соответствующий значению доверительной вероятности (обычно  $k = 3$ ).

### 1.6.4. Погрешности измерений

Разность  $\Delta$  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, аппаратные, методические, абсолютные и относительные.

*Систематическая* погрешность представляет собою составляющую погрешности  $\Delta$ , остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины.

*Случайная* погрешность – это составляющая погрешности  $\Delta$ , изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях.

*Грубая* погрешность – отклонение измеряемой величины от истинной вследствие грубого нарушения методики измерений оператором или вследствие неисправности аппаратуры.

Таблица 1.5

## Радиометрическая аппаратура и ее характеристики

Прибор	Область применения	М, кг	Питание	Детектор	Регистратор	Порог чувствительности	Верхний предел регистрации
СРП-68-01, радиометр	Пешеходная $\gamma$ -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 $\gamma$ -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 $\gamma$ -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 $\gamma$ -спектрометр	Пешеходная $\gamma$ -съемка	6,8	Рубин (5 шт.)	NaI(Tl) 80×80 ФЭУ-110	Стрелочный, цифровой	U, Th – 1 г/т; К – 0,2 %	U, Th – 0,03 %; К – 25 %
РКП-305, «Карат», концентрометр	Пешеходная и шпуровая $\gamma$ -съемка	9,2	А-343 (9 шт.)	NaI(Tl) 80×80 ФЭУ-110	Цифровая индикация U, Th, К	U, Th – 0,4 г/т; К – 0,1 %	U, Th – 0,05 %; К – 50 %
СКАТ-77, комплексная аэрогеофизическая станция	$\gamma$ -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; К – 0,05 %	U – 0,025 %; Th – 0,1 %; К – 32 %
РСС-006, скважинный $\gamma$ -спектрометр	$\gamma$ -спектрометр. каротаж	20	11-16 В; 5 Вт	CsI(Tl) 25×80 ФЭУ-67Б	Цифро-аналоговый	U, Th – 5 г/т; К – 1 %	U, Th – 3 %; К – 50 %
«Гамма-01С», лабораторный $\gamma$ -спектрометрический комплекс	Измерения и обработка спектров $\gamma$ -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», $\alpha$ -радиометр, эманометр	Эманационная съемка	9	Марс-373 (6 шт.)	ZnS(Ag), пластмасса	Цифровое табло	0,3 Бк/л	10 <sup>5</sup> Бк/л

*Абсолютная* погрешность – это погрешность измерений  $\Delta$ , выраженная в единицах измеряемой величины.

*Относительная* погрешность  $\delta$  – 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:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2} . \quad (1.61)$$

Поскольку в эксперименте вместо истинного (заранее неизвестного) значения  $x_0$  используют среднее арифметическое из  $n$  измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i , \quad (1.62)$$

то параметр рассеяния многократно измеряемой величины

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} , \quad (1.63)$$

а параметр рассеяния среднего арифметического значения

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (1.64)$$

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

$$y = ax + b, \quad (1.65)$$

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  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ ,  $\Sigma x^2$ ,  $\Sigma y^2$ ,  $\Sigma(xy)$ .
3. Вычисление коэффициентов  $a$  и  $b$  по формулам:

$$a = \frac{\sum(xy) - \frac{1}{n} \sum x \sum y}{\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{x^2 - (\bar{x})^2}, \quad (1.66)$$

$$b = \frac{\sum y}{n} - a \frac{\sum x}{n} = \bar{y} - a\bar{x}, \quad (1.67)$$

где символ верхней черты означает среднее значение.

4. Вычисление коэффициента корреляции выполняется по формуле:

$$r = \left\{ \frac{\left[ \sum(xy) - \frac{1}{n} \sum x \sum y \right]^2}{\left[ \sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2 \right] \left[ \sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2 \right]} \right\}^{1/2}. \quad (1.68)$$

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
$n = 5$	$\Sigma x = 92,7$	$\Sigma y = 210,2$	$\Sigma x^2 = 2832,1$	$\Sigma y^2 = 13700,9$	$\Sigma(xy) = 6224,3$

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

$$y = be^{ax}. \quad (1.69)$$

Логарифмируя (1.69), имеем:  $\ln y = ax + \ln b$ ; тогда:

$$a = \frac{\sum (x \ln y) - \frac{1}{n} \sum x \sum \ln y}{\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2}, \quad (1.70)$$

$$b = \exp \left[ \frac{\sum \ln y}{n} - a \frac{\sum x}{n} \right]. \quad (1.71)$$

#### 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  $x_1, y_1; \dots x_n, y_n$  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  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ . 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  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , 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  $D$ :

$$\begin{aligned} \bar{y} &= M(ax+b) = aM(x)+b = a\bar{x} + b; \\ D(y) &= D(ax+b) = a^2D(x), \text{ откуда:} \\ a^2 &= D(y)/D(x). \end{aligned} \quad (1.72)$$

Учитывая, что  $\sigma = \pm\sqrt{D}$ , имеем:

$$\begin{cases} \bar{y} = a\bar{x} + b \\ a = \sigma_y / \sigma_x \end{cases} \quad (1.73)$$

Из (1.73) можно найти коэффициент  $b$ :

$$b = \bar{y} - \bar{x} \sigma_y / \sigma_x. \quad (1.74)$$

Подставляя выражения для коэффициентов  $a$  и  $b$  в (1.65), получим следующую формулу для линейной функции  $y(x)$  применительно к случаю несовместных измерений:

$$y_i = \left( x_i - \bar{x} + \bar{y} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \right) \frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \quad (1.75)$$

Расчет величин  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  выполняется на основе рядовых измерений сопоставляемых величин по формулам (1.62) и (1.63).

Обозначим через  $\Delta y$  и  $\Delta x$  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:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \quad (1.76)$$

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).



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому  
комплексу С.А.Упоров

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

### ФТД.В.02 СРЕДСТВА КОММУНИКАЦИИ В УЧЕБНОЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Научная специальность

**1.6.9 Геофизика**

форма обучения: очная, заочная

Автор: Полянок О.В., к.пс.н.

Одобрена на заседании кафедры

Рассмотрена методической комиссией

Управление персоналом  
*(название кафедры)*  
Зав. кафедрой Ветош  
*(подпись)*  
Ветошкина Т. А.  
*(Фамилия И. О.)*  
Протокол № 5 от 20.01.2021  
*(Дата)*

Геологии и геофизики  
*(название факультета)*  
Председатель Бондарев  
*(подпись)*  
Бондарев В. И.  
*(Фамилия И.О.)*  
Протокол № 6 от 10.02.2022  
*(Дата)*

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;
- развития исследовательских 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 студентов online 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<sup>1</sup>. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентов с 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.

---

<sup>1</sup> 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 подготавливаются 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 эффективна, 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 групповой и индивидуальной. 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, имеющих 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 указания по 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 изучать 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 избежать 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 для освещения 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 <sup>2</sup>.

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (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. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).

---

<sup>2</sup> Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii\\_dlya\\_studentov\\_21.pdf](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)<sup>3</sup>.

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.

---

<sup>3</sup>Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]:  
[http://priab.ru/images/metod\\_agro/Metod\\_Inostran\\_yazyk\\_35.03.04\\_Agro\\_15.01.2016.pdf](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 помочь 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 непонятым, 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 неувоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на

то, что это не попадет 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 неустойчивый 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 и 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 в 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 нормальный 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. Правильная организация 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) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;
- 2) добросовестное выполнение заданий;
- 3) выяснение и 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. – 368 с.
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](http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf)

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому  
комплексу

С.А.Упоров

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЕ СТУДЕНТОВ**

**ФТД.В.03 ОСНОВЫ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ И  
ПРАВОВЫХ ЗНАНИЙ**

*Научная специальность*  
**1.6.9 Геофизика**

год набора: 2022

форма обучения: очная, заочная

Автор: Полянок О.В., к.пс.н.

Одобрена на заседании кафедры

Рассмотрена методической комиссией

Управление персоналом  
*(название кафедры)*  
Зав. кафедрой Ветош  
*(подпись)*  
Ветошкина Т. А.  
*(Фамилия И. О.)*  
Протокол № 5 от 20.01.2022  
*(Дата)*

Геологии и геофизики  
*(название факультета)*  
Председатель Бондарев  
*(подпись)*  
Бондарев В. И.  
*(Фамилия И.О.)*  
Протокол № 6 от 10.02.2022  
*(Дата)*

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;
- развития исследовательских 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 студентов online 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<sup>1</sup>. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентов с 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.

---

<sup>1</sup> 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 подготавливаются 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 эффективна, 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 групповой и индивидуальной. 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, имеющих 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 указания по 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 изучать 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 избежать 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 для освещения 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 <sup>2</sup>.

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (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. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).

---

<sup>2</sup> Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii\\_dlya\\_studentov\\_21.pdf](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)<sup>3</sup>.

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.

---

<sup>3</sup>Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]:  
[http://priab.ru/images/metod\\_agro/Metod\\_Inostran\\_yazyk\\_35.03.04\\_Agro\\_15.01.2016.pdf](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 помочь 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 непонятым, 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 неувоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на

то, что это не попадет 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 неустойчивый 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 и 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 в 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 нормальный 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. Правильная организация 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) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;
- 2) добросовестное выполнение заданий;
- 3) выяснение и 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. – 368 с.
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](http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf)