

Отзыв на диссертацию Пригары А.М.

«Научно-методические основы оценки и прогноза устойчивости природно-технических систем при подземной разработке соляных месторождений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.6.7 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение»

Содержание любой диссертационной работы определяется формулировками цели и задач, решение которых необходимо для ее достижения. Из них большей частью и складываются последующая научная новизна и защищаемые положения. Формулировки цели и задач, представленные в диссертации, можно назвать тривиальными и не обладающими научной новизной. Если перевести введенные термины на общедоступный для понимания русский язык, получим:

Относительно цели **«Инженерно-геологическая оценка устойчивости природно-технической системы (ПТС)»** – «это комплексный анализ способности геологической среды противостоять изменениям под воздействием строительства и эксплуатации объектов, а также прогнозирование возможных деформаций. Оценка является ключевым этапом при проектировании, предотвращающим аварии и экологические катастрофы».

Подобные исследования ведутся начиная с открытия любого месторождения и традиционно называются геомеханическим обеспечением безопасности ведения горных работ. Главная задача геомеханики – «определение напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов горных пород. Она изучает физико-механические свойства пород и прогнозирует их поведение под действием природных и техногенных факторов для предотвращения аварий и оптимизации процессов». Отсюда следует, что ввод новой терминологии для описания известных процессов явно не способствует доказательству научной новизны.

Весьма интересно и обоснование актуальности проводимых исследований. Аварии на калийных рудниках, как отмечает и автор, не такое уж редкое дело. История Верхнекамского месторождения содержит три таких события. БКПРУ-3 затоплен в 1986 г. Авария на СКРУ-2 произошла в 1995 г. с последующим проникновением воды в рудник, начиная с 2014 г. Затопление БКПРУ-1 произошло в 2006 г. Каждое событие вызвало определенную реакцию со стороны недропользователей по привлечению дополнительных геолого-геофизических исследований. И только начиная с 2007 г. развернут полномасштабный комплекс геофизических исследований, нацеленный на обеспечение безопасности ведения горных работ. В состав комплекса геофизических исследований на месторождении входят электро-, грави- и сейсморазведочные наблюдения по методикам, закрепленным в «Технологическом регламенте по комплексному обеспечению безопасности горных работ и охране недр на рудниках ПАО «Уралкалий»». Они выполняются как на новых перспективных площадях, так и в рамках мониторинговых наблюдений на отработанных участках шахтных полей с поверхности и во внутренних точках среды, включая и скважинные исследования. Результаты всего комплекса геофизических исследований составляют основу параметрического обеспечения геомеханических расчетов безопасного ведения горных работ в мониторинговом режиме. Заявленное автором полномасштабное решение задач по обеспечению безопасности ведения горных работ в рамках одной версии шахтной сейсморазведки, причем при полном отсутствии в предлагаемой методике наземных опережающих исследований (рис. 105, стр. 218 диссертации; рис. 12, стр. 27 автореферата), невозможно.

В основе всей работы – применение этой единственной версии шахтной сейсморазведки. На ее теоретическом и практическом обосновании и последующем применении базируются и остальные защищаемые положения, и формулировки научной новизны. Относительно новизны шахтной сейсморазведки на поперечных волнах можно отметить следующее.

Применение шахтных сейсморазведочных исследований на Верхнекамском месторождении началось еще в 80-х годах прошлого века. На первоначальном этапе рассматривались различные модификации просвечивания на проходящих волнах. Результаты представлены в отчетах Карагандинского политехнического института (Бородачев, 1986) и Баженовской геофизической экспедиции (Рыбалка, 1990; Меньшиков, 1992). О применении отраженных волн в горных выработках на рудниках ВКМКС впервые задумались представители УкрВНИМИ (Тиркель, Сухина, Компанец, 1992) и Горного института Уральского отделения Российской академии наук (ГИ УрО РАН). В ходе целого ряда полевых экспериментов с направленностью возбуждения, способами крепления сейсмоприемников, параметрами систем наблюдения и регистрации в качестве наиболее устойчивых носителей информации о строении породного массива выбран продольный тип волн. В теоретической основе данного выбора лежат особенности условий возбуждения и диаграмма направленности

источников упругих колебаний в средах неоднородного строения, представленные в работах Пузырева Н.Н. (1985, 1997), Никитина В.Н. (1981), Савича А.-И., Коптева В.И. (1969), Санфирова И.А. (1996).

Кроме того, основываясь на практике сейсморазведочных исследований в горных выработках Верхнекамского месторождения и с учётом зарубежного опыта, в ГИ УрО РАН разработана технология многоволновой шахтной сейсморазведки МОГТ, включающая совместное изучение закономерностей распространения продольных и поперечных волн. Данная технология вошла во внутренние нормативные документы геофизических служб недропользователей (ПАО «Уралкалий», ООО «ЕвроХим-УКК», АО «ВКК»). По ней защищена кандидатская диссертация (Бабкин А.И., 2001), которая, что характерно, приведена в списке литературы диссертации [17]. Результаты шахтной сейсморазведки водозащитной толщи ВКМКС, основанные на комплексировании продольных и поперечных волн, опубликованы и с участием самого соискателя (Горный журнал, 2008, № 10 – п. 3 списка работ в автореферате). В связи с этим заявленная в работе новизна предложения изучать поперечные волны в горных выработках также отсутствует.

В целом по сути представленных исследований можно отметить, что работа построена на физически не обоснованном положении о невозможности регистрации отраженных продольных волн в соляной толще («На Р-волнах получить отражения от геологических границ в соляной толще невозможно», с. 120 диссертации). Преобладание амплитуды поперечных волн над продольными при возбуждении сосредоточенной силой – известный из теории факт (характеристика направленности источника, на которую ссылается и сам автор), но из него никак не следует отсутствие отраженных продольных волн. Акустическая контрастность контактов каменной соли с карналлитом и сильвинитом вполне достаточна для их уверенной регистрации, что подтверждено многолетней практикой шахтной сейсморазведки на ВКМКС. Более того, сам автор в тексте диссертации указывает на наблюдаемые отражения Р-волн от кровли ПКС и подошвы ПдКС (с. 113) и от границ целиков на удалении до 150–300 м (глава 5), а причины отсутствия отражений от границ внутри соляной толщи в своих экспериментах определить не может («Причин может быть несколько», с. 113). Данный основополагающий момент представленной работы противоречит и результатам кандидатской диссертации 2003 г. «Прогноз строения и свойств горного массива на основе сейсмо моделирования» этого же автора. Да и на рис. 3 автореферата и рис. 56 диссертации, представленных автором как доказательство данного утверждения, на левом фрагменте (по-видимому, глубинного, а не временного разреза), полученном, по утверждению автора, на продольных волнах, отчетливо прослеживаются оси синфазности. При этом надпись на самом рисунке («Отражений от геологических границ нет») противоречит подписи к нему («отражения от границ ИГЭ и РЭ не четкие»).

Возможно, подобный научный разворот автора объясняется недостаточной проработкой существующих теоретических положений закономерностей распространения упругих волн в тонкослоистых средах и физических основ их регистрации и обработки. Подобное предположение базируется на анализе содержания диссертации.

Большой объем исследований в работе посвящен практическому выбору параметров систем регистрации общеизвестной в сейсморазведке методики многократных перекрытий. Смысл подобных исследований непонятен. Есть четкие и общеизвестные правила формирования подобных систем, сформулированные их автором Г. Мейном еще в прошлом веке: шаг пунктов приема не более половины длины целевых волн, база приема сопоставима с глубиной исследований, кратность суммирования определяется исходным соотношением сигнал/помеха. На представленных в работе реальных временных разрезах (рис.24, рис.55, рис.79 диссертации) в исследуемом интервале геологического разреза видимого периода меньше (3.5–4) мсек нет, а следовательно, нет и частот выше 250–280 Гц. При скорости распространения поперечных волн 2500–2600 м/с длина волны составит около 8–10 м. Зачем при таких параметрах обосновывать многочисленными полевыми экспериментами шаг между пунктами приема в 2 м, непонятно: он очевиден и в принципе избыточен. Кроме того, как при длине базы приема 130–190 м (64–96 каналов при шаге 2 м) автор идентифицирует отражения с расстояний 300 м, также непонятно. В подобных условиях нет избирательности годографа, и появляется большой выбор для фантазии по привязке каких-либо явлений на сейсмограммах. Следует отметить и отсутствие в работе широкого применения результатов скоростного анализа, возможности которого относятся к одному из основных преимуществ методики многократных перекрытий, как в целях параметрического обеспечения последующей интерпретации, так и для борьбы с помехами. Суммирование по общей глубинной точке отраженных волн с одним значением скорости распространения упругих волн на весь исследуемый интервал временного разреза (например, рис. 55 диссертации) также нельзя отнести к квалифицированным действиям. Скоростные свойства пород продуктивной и вмещающих толщ Верхнекамского месторождения согласно многочисленным

результатам сейсмического и акустического каротажа достаточно дифференцированы. Диапазон изменения скоростей поперечных волн в их пределах может достигать 1000 м/с. Автором приведены в качестве обоснования «нестандартной» методики на поперечных волнах и результаты физического моделирования, выполненного в натурных условиях соляного рудника при расположении выработок одна над другой (просвечивание в вертикальном направлении, рис. 35 диссертации). При этом автор делает неочевидный вывод: «...в данном случае зафиксированы отражения от геологических границ на поперечных волнах, и не зафиксированы отражения на волнах продольных». Данный вывод некорректен, т.к. в представленном эксперименте (при ударе в стенку выработки) энергия продольных волн, излучаемых в вертикальном направлении, минимальна просто согласно характеристике направленности источника, которую автор сам же и описывает. Эксперимент, таким образом, не доказывает отсутствия отраженных продольных волн, а лишь иллюстрирует известную диаграмму направленности источника типа «сосредоточенная сила».

Защищаемые положения обосновываются заявлениями об адекватности результатов шахтной сейсморазведки ПВРО на поперечных волнах и базируются на результатах ее применения на ВКМС. При этом приведенная в разделе 2.3.4 «оценка достоверности» сводится к сопоставлению сейсмических разрезов с априорными геологическими построениями на участках нормального, ненарушенного строения ВЗТ, тогда как ключевые новые объекты – «эрозионные врез» и зоны замещения в ВЗТ – заверки данными прямыми методами не имеют, что признает и сам автор (с. 168–169: бурение из шахты выше пласта В запрещено, а поверхностные скважины пересекают такие зоны в единичных случаях; с. 245: «ввиду отсутствия целиков с нарушениями, установленными прямыми способами»). Здесь следует также отметить заявленную практическую значимость выполненных автором исследований и их внедрение в производственных организациях. В приложении I диссертации представлены справки и акты только от организаций-работодателя соискателя из структур холдинга «Уралхим, Уралкалий» (ПАО «Уралкалий» и АО «ВНИИ Галургии»), двух кафедр ПГНИУ и кафедры ПНИПУ (использование в учебном процессе и НИР) и трех изыскательских организаций (ООО «ПГГК», ООО «ПермПроектИзыскания», ООО «ППИ-Геофизика»), но нет ни одного акта от не аффилированных недропользователей. На сегодняшний день ни в один нормативный документ недропользователей на Верхнекамском месторождении предлагаемая версия шахтной сейсморазведки не включена: 1) ПАО «Уралкалий»: Технологический регламент по комплексному обеспечению безопасности горных работ и охране недр на рудниках ПАО «Уралкалий», 2021 г.; Инструкция по шахтной сейсморазведке, 2021 г.; 2) ООО «ЕвроХим-УКК»: Инструкция по геофизическому обслуживанию рудника, версия 2.0; 3) АО «ВКК»: Инструкция о геофизическом обслуживании рудника Талицкого ГОКа (Технологический регламент), утверждена приказом генерального директора № 226 от 25.07.2024.

Относительно второго защищаемого положения о новом типе геологической нарушенности необходимо отметить, что эрозионные структуры на поверхности соляного зеркала, лежащие в его обосновании, таковыми не являются. Во-первых, потому что эрозия – это поверхностный процесс, а здесь – подземное выщелачивание (растворение). Во-вторых, в многослойной среде, сложенной солями с различной растворимостью, при разложении карналлита с образованием вторичного сильвина за счет выщелачивания с выносом хлорида магния и с уменьшением мощности пластов формирование каньонообразных структур глубиной в десятки метров (на схематической модели автора – рис. 85 диссертации – врез показан от кровли солей почти до сильвинитовой пачки, т.е. глубиной порядка 60–80 м) вызывает большое сомнение. Для этого необходимо проявление интенсивных потоков в зоне, которая является зоной затрудненного водообмена. Что могло обеспечивать необходимую для этого разность напоров? Характерно, что на реальных сейсмических разрезах (рис. 101, б диссертации) «эрозионный врез» выглядит как пологое прогибание отражающего горизонта амплитудой 10–20 м при ширине порядка 100 м, а не как каньон. Приведенное «геолого-геомеханическое обоснование» природы врезов (раздел 3.2) основано на формулах изгиба тонкой упругой пластины, применяемых далеко за пределами их применимости (отношение прогиба к толщине $f/h = 8,5$ при формулах, выведенных для $f \approx h$), и на сравнении упругих деформаций с предельными деформациями образцов при кратковременных испытаниях, тогда как соляные породы за геологическое время деформируются течением (ползучестью), что признает и сам автор (с. 171). Инженерно-геологическая модель обосновывается только резким погружением отражающих поверхностей, которое может быть артефактом обработки: сам автор признает наличие после процедуры «разделения отражений» «зеркальных» артефактов (с. 149) и ошибки определения скоростей на 15–23 % по годографам от складчатых границ (с. 71), а миграция с некорректным скоростным законом в складчатой среде как раз и порождает локальные «прогибы» осей синфазности.

Для 3-го защищаемого положения следует отметить противоречие выполненного автором районирования территории Верхнекамского месторождения по «рискам возникновения опасных геологических процессов» реальной ситуации. Так, шахтные поля затопленных рудников БКПРУ-1 и БКПРУ-3, по мнению автора, не обладают высокой вероятностью подобных процессов, как и северная часть СКРУ-2, где находится аварийный участок. Также непонятно, как автору удалось уточнить данную схему районирования за счет результатов шахтной сейсморазведки и отнести к устойчивому «состоянию природно-технической системы инженерно-геологический массив – подземное сооружение» шахтное поле затопленного рудника БКПРУ-3 и неразрабатываемые на данный момент участки ВКМКС, например Боровской (рис. 11 автореферата, рис. 104 диссертации), где шахтная сейсморазведка в принципе не могла выполняться. Следует добавить, что сам «показатель риска» R (формула 30) вычисляется как среднее арифметическое разнородных признаков с равными весами, пороговые значения $R = 0,5$ и $0,75$, а также пороги мощности ВЗТ (20 и 70 м) в классификации (таблица 7) никак не обоснованы, а какая-либо проверка районирования по известным аварийным участкам в работе отсутствует – при том, что именно такая проверка, как показано выше, дает отрицательный результат.

Относительно 4-го защищаемого положения следует отметить, что контроль строения и свойств породного массива в горизонтальном направлении на основе комплексной интерпретации продольных и поперечных волн детально рассмотрен в диссертации Бабкина А.И. (2001 г.). Методика многоволновой сейсморазведки, представленная в его работе, как мы отмечали выше, включена в нормативные документы недропользователей на Верхнекамском месторождении. Также вызывает большой вопрос обоснование применения зависимостей физико-механических свойств от скоростей распространения упругих волн, полученных на образцах конкретных пород, к их прогнозированию по сейсморазведочным параметрам. Сейсморазведочные параметры отражают строение и свойства толщ, сложенных различными породами, а не свойства отдельного литотипа. При этом еще возникает вопрос об адекватности сравнения скоростных оценок, полученных в различных частотных диапазонах. Из практики сейсморазведки хорошо известно о необходимости корректировки данных акустического каротажа по результатам сейсмокаротажа или вертикального сеймопрофилирования при интерпретации сейсморазведочных данных.

Кроме того, сами расчетные формулы, положенные в основу «физико-механической модели целика» (с. 247), содержат грубые физические и математические ошибки, а ссылки на классические труды по теории упругости [162 – Лурье А.И., 1970; 181 – Новацкий В., 1975] использованы некорректно или номинально. Во-первых, само обозначение отношения квадратов скоростей символом λ недопустимо в контексте цитируемых источников, где λ – первый параметр Ламе, в качестве которого автор сам использует этот символ в формуле (4) на с. 55. Во-вторых, формула (62), названная автором «объемным модулем упругости», на самом деле определяет модуль продольной деформации (жесткость среды при одноосной деформации без поперечного расширения). Правильное выражение для объемного модуля следует, в частности, из формул (13) и (16) той же диссертации (с. 56). Формула (59) при введенном формулой (60) обозначении λ также неверна. Что это не опечатка, а принципиальная расчетная ошибка, видно по рис. 121, где диапазон коэффициента Пуассона на карте составляет 0,375–0,39, тогда как по правильной формуле он равен 0,34, а объемный модуль – не 30,5, а около 20,5 ГПа (завышение в 1,5 раза). Соответственно, ошибочны и дальнейшие карты коэффициента Пуассона и объемного модуля (рис. 121), карты их изменений (рис. 123, а, в) и, в меньшей степени, карта модуля упругости и его «приведение» к статическому (рис. 125). Также не понятно почему в расчеты принята единая и явно заниженная плотность – 1,9 г/см³.

В таблице 8 условия по ширине целика перепутаны (ширина меньше расчетной отнесена к безопасному состоянию, а больше расчетной – к критическому), а степень нагружения и предел длительной прочности целика объявлены определяемыми «по данным сейсморазведки». Наконец, «прогноз» состояния целика до 2050 г. выполнен линейной экстраполяцией результатов наблюдений за 4–5 лет (рис. 128, 129), что не может считаться обоснованным методом прогноза.

В заключение хотелось бы отметить, что, на наш взгляд, рассмотренные выше результаты, представленные соискателем, в основном все же относятся к паспорту специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», а не 1.6.7 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение». Введенная автором терминология по определению задач, научной новизны и защищаемых положений в терминах инженерной геологии, носит искусственный характер. Два из четырех защищаемых положений (первое и четвертое) целиком посвящены методике полевых сейсморазведочных работ и обработке сейсмических данных, а в основе двух других лежит интерпретация сейсмических разрезов. В

поддержку этого утверждения можно привести определение инженерно-геологических условий (ИГУ) из Российской геологической энциклопедии— 2010 года издания (т. 1, с. 624–625). ИГУ «следует рассматривать как открытую, сложную многофакторную изменяющуюся во времени систему, современное состояние которой определяется как структурно-геологическими, так и современными климатическими особенностями территории, а на освоенных массивах характером техногенных воздействий». Каким образом шахтная сейсморазведка на глубине 300-400 м способна изучать последствия изменчивости климатических условий? В этой связи возникает вопрос, зачем автор пытается представить свою работу в таком виде?

Тем не менее, даже если не принимать во внимание дискуссионное, на наш взгляд, решение о соответствии данной работы специальности 1.6.7 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение», по сути изложенных результатов представленная работа не соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук согласно п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями).

В представленной работе: 1) нет реального и физически обоснованного достижения в развитии направления геофизических исследований на месторождениях водорастворимых полезных ископаемых – присутствует лишь физически не обоснованное отрицание возможности регистрации отраженных волн продольного типа; 2) нет реального решения проблемы обеспечения безопасного ведения горных работ в пределах подобных месторождений, что подтверждается сопоставлением результирующих схем районирования с реальной горнотехнической и геологической ситуацией; 3) нет научно-обоснованных технических решений, вносящих вклад в ускорение научно-технического прогресса, – все сводится к одной предлагаемой версии шахтной сейсморазведки.

Я, Санфиоров Игорь Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Я, Чугаев Александр Валентинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Я, Ярославцев Александр Геннадьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Руководитель научного направления «Геофизика»

«ГИ УрО РАН» ПФИЦ УрО РАН, д.т.н., профессор по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»
614007, Пермский край, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78-А, тел./факс (342) 216-75-02,
<http://www.mi-perm.ru>, e-mail: arc@mi-perm.ru

Игорь Александрович Санфиоров

Зав. сектором малоглубинных скважинных исследований

«ГИ УрО РАН» ПФИЦ УрО РАН, д.т.н. по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»
614007, Пермский край, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78-А, тел./факс (342) 216-75-02,
<http://www.mi-perm.ru>, e-mail: arc@mi-perm.ru

Александр Валентинович Чугаев

Зав. сектором экспериментальной сейсмоакустики

«ГИ УрО РАН» ПФИЦ УрО РАН, к.т.н. по специальности 25.00.16 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»
614007, Пермский край, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78-А, тел./факс (342) 216-75-02,
<http://www.mi-perm.ru>, e-mail: asa_gis@mi-perm.ru

Александр Геннадьевич Ярославцев