

При Федеральном государственном бюджетном учреждении науки

Пермский федеральный исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук

ОТЗЫВ

Официального оппонента доктора физико-математических наук профессора

Чеверда Владимира Альбертовича

на диссертационную работу Чугаева Александра Валентиновича «Теоретические основы и практика малоглубинных скважинных сейсмических исследований при эксплуатации месторождений водорастворимых полезных ископаемых», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Представленная диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Работа изложена на 247 стр. и содержит 159 рис. По теме диссертации автором опубликовано 20 работ в изданиях, рекомендованный Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для публикации результатов, входящих в диссертации на соискание степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Актуальность.

Основное внимание в диссертации сосредоточено на развитии, апробации и применении методики скважинных сейсмических наблюдений применительно к развитию подходов для обработки полученных данных. Такие исследования относятся к специализированному разделу сейсморазведки, основная особенность которого состоит в возбуждении и регистрации сейсмических волновых полей для сравнительно неглубоких систем наблюдения во внутренних точках среды. Основным геологическим объектом для изучения которого разрабатывается и применяется создаваемая автором технология в работе выбрано Верхнекамское месторождение солей.

Несомненными достоинствами таких систем наблюдения мне представляются следующие:

- Существенное снижение уровня шума за счёт погружения источника и приёмника ниже уровня свободной поверхности, что позволяет избежать влияния

интенсивного поля поверхностных волн, зачастую существенно затрудняющих выделение и обработку целевых отражений;

- Приближение системы наблюдения к изучаемому целевому объекту и повышение на этой основе разрешающей способности и информативности получаемых данных;
- Обеспечение высокой повторяемости наблюдений, в том числе и благодаря заглоблению системы наблюдения внутрь среды, что обеспечивает максимальное уменьшение влияния сезонной изменчивости и погодных условий на состояние верхней части разреза. Особенную актуальность предлагаемому подходу придаёт открывающаяся возможность его использования для мониторинга процесса разработки упомянутого Верхнекамского месторождения солей.

Здесь необходимо отметить, что во многом возникновение и успешное развитие методики скважинных сейсмических наблюдений, среди которых наиболее широкое распространение имеет метод ВСП (метод вертикального сейсмического профилирования) и различные его модификации, было обеспечено вкладом советских и российских специалистов, таких, например, как Льва Александровича Рябинкина, Евсея Иосифовича Гальперина, Григория Ароновича Шехтмана и ряда других. Созданные и апробированные ими методы и технологии до сих пор весьма востребованы и применяются при решении многих научных и практических задач.

Однако, как и во многих других направлениях на стыке научных и прикладных исследований, здесь до сих пор остаётся нерешённым ряд фундаментальных и прикладных задач, рассмотрению которых и посвящена диссертация соискателя. Основным геологическим объектом, который используется для апробации предлагаемого в работе сейсмического метода скважинных исследований, выступает стратегически значимый объект - Верхнекамское месторождение солей (ВКМС), крупнейшее месторождение калийных солей в Европе. Его отличительной особенностью является глубина залегания порядка 500 м, что позволяет отнести сейсмические методы, используемые для его изучения, к малоглубинным. С одной стороны, это облегчает проведение разведочных работ, однако столь близкое залегание верхней границы месторождения вносит фактор риска прорыва жидкости, который неизбежно приведёт к растворению солей, образованию полостей и созданию аварийных ситуаций. Обеспечение безопасности разработки этого месторождения и развитие оптимальной стратегии его разработки уже в течение нескольких десятилетий привлекает внимание широкого круга специалистов (см. например, Глебов С.В. Обоснование рациональных комплексов геофизических исследований водозащитной толщи на месторождениях водорастворимых руд (на примере Верхнекамского месторождения калийных солей), Пермь, Геокнига 2006; Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение, Москва, Геокнига, 2013; Аптуков В.Н., Пестрикова В.С.,

Русаков М.И., Секунцов А.И., Соловьев В.А., Тарасов В.В., Чернопазов Д.С. Аспекты повышения эффективности разработки Вернекамского калийного месторождения), что и подчёркивает актуальность и практическую значимость рассматриваемой задачи.

Такое близкое залегание месторождения к свободной поверхности ведёт к необходимости регулярного проведения геофизического, в первую очередь сейсмического, мониторинга. На мой взгляд именно этот фактор придаёт максимальную актуальность развиваемому в диссертации подходу.

Научная новизна и практическая значимость.

1. Проведённый автором в работе анализ синтетических и полевых сейсмических данных применительно к изучению Верхнекамского месторождения солей показал, что в них наблюдаются преимущественно основными продольные волны: прямые, головные и отраженные. На основе такого заключения им разработан подход к декомпозиции волнового поля и цифровой обработке его составляющих для оценки упругих свойств межскважинного пространства.

2. Автором развит подход к обработке данных полученных при выделении головных преломленных волн, регистрируемых в скважинах. Причём ему удалось значительно продвинуться в этом направлении и получить аналитические зависимости между кажущимися скоростями, наблюдаемыми на сейсмограммах, и скоростями межскважинного пространства, и граничными скоростями кровли солей. Именно эти зависимости были положены в основу разработанной методики изучения упругих свойств породного массива Верхнекамского месторождения калийных солей.

3. Несомненно новым результатом я считаю предложенную и впервые реализованную автором методику совместного использования межскважинного просвечивания и скважинного профилирования по методу общей глубинной точки на отраженных волнах. На этой основе был предложен и реализован подход для определения сплошности и толщины ледопородного ограждения. Его применение позволило установить, что на этапе смыкания ледопородного ограждения наблюдаются рефрагированные волны, распространяющиеся по высокоскоростному замороженному массиву, изучение которых дает представление о степени его монолитности и может быть использовано при проведении сейсмического мониторинга и оценки опасности прорыва жидкости.

4. Показано, что проведение скважинного профилирования по методике ОГТ, выполняемого в единственной скважине, открывает возможность изучения продольных волн и гидроволн в идеологии акустического каротажа. Кратность определения скоростной

характеристики на одном интервале может составлять от 20 до 40, кратность суммирования отраженных продольных волн – более 100, гидроволн – более 400. Это обеспечивает заметное снижение уровня помех и, тем самым, повышение разрешающей способности и достоверности получаемых результатов.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и сформулированных выводов опирается на:

1. Известные фундаментальные теоретические результаты, изложенные в работах российских и зарубежных авторов, которыми в совершенстве владеет автор и на которые в тексте диссертации он ссылается в тексте диссертации;
2. Детальный анализ результатов полевых наблюдений в сравнении с синтетическими волновыми полями, рассчитанными с использованием проверенных методов по надёжному программному обеспечению;
3. Сравнительный анализ результатов обработки данных полевых наблюдений по различной методике.

Проведённые исследования подтвердили корректность разработанного метода и высокое качество получаемых результатов.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Полученные автором результаты открывают широкие перспективы развития малоуглубинных сейсмических исследований, причём не только при изучении месторождений типа Верхнекамского соляного. На мой взгляд, наибольший интерес разработанная методика и полученные на её основе результаты представляют при организации сейсмического мониторинга для отслеживания изменчивости свойств изучаемых геологических объектов, в первую очередь при разработке месторождений полезных ископаемых. Действительно, здесь первостепенное значение имеет использование систем наблюдения неподверженных влиянию различного вида факторов, как антропогенных, так и природных. Предлагаемая автором методика на основе использования методов скважинных сейсмических наблюдений как раз и позволяет обеспечить если не абсолютную повторяемость, то возможность по крайней мере учитывать изменчивость условий возбуждения и регистрации сейсмических волн и при необходимости выполнять нужную корректировку данных.

Ещё одним очень перспективным направлением дальнейшего развития предложенной методики я вижу активное использование так называемых систем DAS (Distributed Acoustic Sensing), в переводе на русский систем распределённого акустического зондирования. Конечно они обладают рядом недостатков, в частности, невозможности их прямолинейного применения для регистрации полного волнового поля. Однако бурное

развитие этой технологии вселяет надежду на преодоление этих трудностей. Например, невозможность регистрации поперечных волн такой системой наблюдения преодолевается использованием винтовой регистрирующей антенны. Поэтому заниматься этим нужно, и я уверен, что работа соискателя в этом направлении позволит ускорить создание перспективной технологии малоуглубинных скважинных сейсмических наблюдений.

Структура и содержание работы.

Представленная диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Её объём составляет 247 стр. и 159 рис. По теме диссертации автором опубликовано 20 работ в изданиях, рекомендованный Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для публикации результатов, входящих в диссертации на соискание степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», п. 15 «Лабораторные и полевые геофизические методы и средства исследования состава, строения, свойств и состояния горных пород и массивов. Геологический, геофизический и маркшейдерский мониторинг функционирования горнотехнических систем и геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых».

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Введение.

Обосновывается актуальность темы диссертации, новизна полученных результатов, формулируется цель работы и основные защищаемые положения. Отдельное внимание уделяется описанию новизны проведённых исследований и их практической и научной значимости.

Глава 1. Современное состояние скважинных сейсмических исследований и направления развития.

Описываются современные методы проведения сейсмических исследований в скважинах. На основе анализа результатов полевых наблюдений и численного моделирования применительно к реалистичным сейсмогеологическим моделям Верхнекамского месторождения солей обосновывается необходимость привлечения дополнительных классов волн и сформулирована стратегия разделения полного волнового поля на его отдельные составляющие: прямые волны, отражённые и головные. Сформулированы основные задачи, на которые ориентированы малоуглубинные сейсмические исследования на месторождениях водорастворимых полезных ископаемых:

- Изучение упругих характеристик среды, которыми в данном исследовании автор считает скорости распространения продольных волн;
- Реконструкция геометрии сейсмических границ;

- Картирование областей с аномальными акустическими свойствами;
- Выявление и локализация зон повышенной субвертикальной трещиноватости;
- Проведение геофизического мониторинга в целях отслеживания пространственно-временной изменчивости напряжённо-деформированного состояния изучаемого горного массива.

Также в этой главе приводятся основные результаты автора, полученные им по оценке разрешающей способности при использовании преломленных и отраженных волн для межскважинных исследований на основании моделирования объема Френеля путём численного построения полей времён для соответствующего типа волн: прямых, преломленных и отражённых.

Глава 2. Методические решения при проведении скважинных сейсмических исследований.

В этой главе автор сосредотачивается на анализе методик, используемых в современных сейсмоакустических исследованиях и ориентированных, главным образом, на использование отражённых и преломленных волн при проведении межскважинного просвечивания и вертикального сейсмического профилирования. На этой основе автором предлагается, обосновывается и реализуется метод построения глубинной скоростной модели по данным межскважинного просвечивания. Им предлагается обобщённая схема построения глубинной скоростной модели, содержащая следующие основные этапы:

- Выделение поля восходящих и нисходящих отражённых волн;
- Нахождение скоростной модели для изучаемого геологического объекта;
- Глубинная миграция сейсмических данных с использованием полученной скоростной модели;
- Выполнение суммирования и построение глубинного сейсмического разреза.

Особое внимание в данной главе уделяется использованию головных волн для построения глубинного сейсмического разреза по данным скважинных сейсмических исследований. Автор приводит ряд аргументов, обосновывающих целесообразность их применения. Среди них я бы выделил тот факт, что суммирование головных волн повышает точность определения времён первых вступлений, используемых при построении скоростной модели изучаемого природного массива. Во многом это обусловлено повышенным значением сигнал/шум по сравнению с поверхностными наблюдениями, что позволяет проводить детальный анализ преломленно-отражённых волн на горизонтальных и субгоризонтальных границах.

Для меня наиболее значимым результатом, изложенным во второй главе, представляется убедительно обоснованный метод поиска распространения

субвертикальных зон трещиноватости в методе вертикального сейсмического профилирования.

Глава 3. Разработка аппаратурно-методического обеспечения скважинных сейсмических исследований на основе распределенных оптоволоконных датчиков.

В данной главе анализируются перспективы использования распределённых акустических систем для регистрации сигналов, полученных при выполнении сейсмоакустического мониторинга внутреннего состояния разрабатываемых месторождений. Структура этой главы выстроена чрезвычайно рационально и позволяет с лёгкостью следить за рассуждениями автора.

Во вводной части излагаются самые общие сведения об основных принципах, на которые опираются распределённые акустические системы регистрации сейсмических данных, включая и описание некоторых их технических характеристик. Анализ приведённых здесь данных уже даёт определённые представления о преимуществах и недостатках этих систем. Далее автором проводится детальный анализ амплитудно-частотных характеристик не только для прямолинейного, но и для спирально уложенного оптоволоконка.

Наибольший интерес для меня в этой части диссертации представляют сравнение результатов регистрации сейсмических сигналов с помощью оптоволоконных систем и гидрофонов. В частности, на основании сравнения записей этих двух систем наблюдения, а именно, оптоволоконной системы регистрации и поверенных стандартных сейсмических датчиков, получена количественная оценка чувствительности оптоволоконной системы путем сравнения отношений сигнал-шум для каждого способа регистрации. Замеченные различия автор весьма убедительно объясняет составом шума, который регистрируют гидрофонными и оптоволоконными системам наблюдения, упоминая, что данные последних осложнены также и оптическим шумом.

Я согласен с автором, что основная теоретическая и практическая ценность полученных в этой главе результатов в том, что они открывают **ВОЗМОЖНОСТЬ** количественной оценки чувствительности оптоволоконных систем регистрации, без чего весьма затруднительно выполнять корректное их проектирование.

Глава 4. Практика применения скважинной сейморазведки на месторождениях полезных ископаемых

С моей точки зрения такая глава является ключевой в любой диссертации, представляемой на соискание степени доктора технических наук. В данной работе здесь собраны наиболее интересные с точки зрения автора практические задачи, решаемые на

основе разработанной методики. Мне наиболее близки задачи, связанные с мониторингом, поэтому я и остановлюсь на них.

1. Скважинный мониторинг аварийного участка шахтного поля.

Как справедливо отмечено автором, на таких территориях возникают техногенно-геологические процессы, требующие непрерывного контроля состояния породного массива, особенно если поблизости находятся инженерно-активные зоны промышленной и городской застройки. Поэтому представляется весьма целесообразным заранее расположить здесь распределённую акустическую систему сбора, чтобы иметь возможность оперативно оценивать протекающие процессы и при необходимости провести специальные мероприятия для минимизации возможного ущерба.

2. Скважинный мониторинг породного массива с применением распределённых оптоволоконных акустических датчиков.

Спроектирована и опробована система мониторинга аварийного участка на Верхнекамском месторождении солей, включающая распределённую оптоволоконную систему регистрации, смонтированную в 4-х кустах скважинах и активный скважинный источник упругих колебаний (рис. 4.12). Мониторинг выполняется способом межскважинного акустического просвечивания. Применение специального кабеля, содержащего прямое и спиральное волокно, позволяет регистрировать прямые, отраженные и преломленные головные волны. На основании сравнения волновых полей локализуются участки изменения упругих свойств массива и дается количественная оценка таких изменений. Предложенная система мониторинга может быть использована как для контроля сохранности разрабатываемого массива на проблемных участках, так и для мониторинга оснований ответственных зданий и сооружений, расположенных в зонах ускоренных оседаний подработанной территории.

Заключение.

Подводятся итоги проведённых работ в области использования распределённых акустических систем для проведения малоглубинных сейсмических исследований и намечаются пути дальнейших теоретических и прикладных работ в этом направлении. На мой взгляд данная диссертация имеет чрезвычайно важное значение, так как в ней определяются основные направления развития методов сбора, обработки и интерпретации малоглубинных сейсмических наблюдений. Полученные автором результаты в этом направлении базируются на успехах советских и российских школ в области скважинных сейсмических исследований и в то же время дают принципиально новые подходы к развитию теории и методики проведения малоглубинных сейсмических наблюдений. На мой взгляд особенную ценность представляют результаты, полученные автором в области использования распределённых акустических систем для выполнения полевых наблюдений

в малоглубинной сейсмике, так как они, фактически, закладывает основу для дальнейшего развития нового направления:

Применение распределённых акустических систем для выполнения полевых наблюдений в малоглубинной сейсмике.

Замечания.

Как и любая работа такого объёма, посвящённая исследованию принципиально важных вопросов, данная диссертация несвободна от незначительных огрехов.

1. В работе утверждается, что проведённый автором анализ наблюденных волновых полей на Верхнекамском месторождении солей позволил установить, что они формируются в основном продольными волнами: прямыми, головными и отраженными.

Вопрос: почему не рассматривались поперечные волны? Они не возбуждались ввиду применения источников специального типа? Например, центр расширения. Или не регистрировались опять-таки из-за применения специальных приёмников? Но в любом случае должны были возникать обменные волны типа PSP.

2. Автором разработана теория головных преломленных волн, регистрируемых в скважинах, включающая аналитические зависимости между кажущимися скоростями, наблюдаемыми на сейсмограммах, и скоростями геометрических характеристик межскважинного пространства и кровли солей. Эта теория служит основой для разработки методик изучения упругих свойств породного массива. Не уточняется, какого типа аналитические зависимости имеются в виду. В частности, по таблично заданным значениям также можно построить аналитическую функцию, путём, например, построения аппроксимирующего полинома.

Сделанные замечания никоим образом не умаляют отмеченной мною ранее научной и практической значимости и высокого качества полученных результатов.

Заключение.

Диссертация А.В.Чугаева представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработана и апробирована методика сбора, обработки и интерпретации данных малоглубинных скважинных исследований. Несомненное преимущество данной работы и полученных результатов заключается не только в глубокой проработке и дальнейшем развитии существующей в настоящее время методики проведения полевых работ и обработки полученных результатов, но и формировании научно-методических основ нового направления, связанного с использованием распределённых акустических систем.

Результаты научных исследований, выносимые на защиту, прошли солидную апробацию на российских и международных конференциях и опубликованы в двадцати печатных работах в изданиях, рекомендованных для публикации материалов, входящих в

докторские диссертации по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр». Соискателем также оформлены три патента.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Работа соответствует паспорту специальности 2.8.3, пункт 15, а опубликованные статьи полностью соответствуют содержанию диссертации и отражают основные результаты исследования.

Диссертационная работа представляет научный интерес, имеет практическую значимость и соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года. Считаю, что её автор Чугаев Александр Валентинович заслуживает присуждения ему степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник

Института нефтегазовой геологии и геофизики

им. А.А.Трофимука СО РАН,

д. ф.- м. н., профессор,

Владимир Альбертович Чеверда

Федеральное государственное учреждение науки

Институт нефтегазовой геологии и геофизики

им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук

630090 Новосибирск просп. Академика Коптюга, дом 3

Тел. Рабочий 8 383 333 35 40

Мобильный : 8 913 474 99 79

e-mail: cheverdava@ipgg.sbras.ru

Я, Чеверда Владимир Альбертович, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

