

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института геофизики им. Ю.П. Булашевича  
Уральского отделения Российской академии наук

К.Г.-М.Н.,  
Козлова И. А.

« 08 » августа 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

**Чугаева Александра Валентиновича**

«Теоретические основы и практика малоглубинных скважинных сейсмических исследований при эксплуатации месторождений водорастворимых полезных ископаемых», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

### Актуальность темы диссертации

Эксплуатация месторождений водорастворимых полезных ископаемых связана с высоким риском нарушения водоупорного слоя и проникновения пресных грунтовых вод в шахтные выработки. Одним из обязательных условий безопасного ведения горных работ является проведение регулярных геофизических исследований для оценки состояния водозащитной толщи и корректировки планов горных работ. В условиях пластового строения месторождения наиболее информативным для изучения строения и состояния породного массива является сейсмоакустический метод.

Одним из направлений сейсмоакустических исследований являются исследования в скважинах. Исторически скважинные сейсмические исследования связаны главным образом с поиском и разработкой месторождений углеводородов, что обусловило специфику методических решений, ориентированных на диапазон глубин от 1 км и больше.

Глубина залегания продуктивной толщи на Верхнекамском месторождении калийных солей не превышает 500 метров, соответственно сейсмоакустические методики в таких условиях относятся к малоглубинным, что расширяет круг решаемых задач и требует разработки новых подходов к регистрации и обработке сейсмоакустических данных.

В связи с изложенным, диссертационная работа, направленная на создание комплекса методических и технических решений для организации многоволновых сейсмических исследований в скважинах, изучения и мониторинга разрабатываемого породного массива, является весьма актуальной.

**Научная новизна** диссертационной работы Чугаева А.В. не вызывает сомнений и связана с изучением особенностей волновых полей в различных сейсмогеологических ситуациях и разработкой новых методических решений для выполнения горнотехнических задач.

Для условий соляного месторождения разработан способ получения глубинного сейсмического разреза в системе наблюдений межскважинного просвечивания в том числе ниже забоя скважин и учитывающий резкий градиент скоростей на кровле соляного зеркала. Предложен способ суммирования головных волн, регистрируемых в скважинах, и за счет изучения вторичного волнового поля, в частности преломлено-отраженных волн, разработаны оригинальные методики выделения акустических границ, в том числе вертикально-ориентированных.

При изучении ледопородного ограждения, формируемого при строительстве шахтных стволов предложен многоволновой подход, включающий как традиционный подход, основанный на изучении прямых волн, так и привлечение отраженных и преломленных волн.

Для предложенных методических решений выполнены оценки разрешающей способности с помощью изучения размеров и формы первой зоны Френеля в объемном варианте для различных классов волн.

Важным научным результатом является получение амплитудно-частотной характеристики оптоволоконных распределенных сенсоров, а также



количественной оценки чувствительности в сравнении с традиционными сейсмическими датчиками.

### **Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

В диссертационной работе автором сформулировано пять научных положений, которые обосновываются и доказываются в тексте работы, состоящей из четырех глав. Выводы основаны на большом количестве экспериментальных скважинных сейсмических исследований, их сходимости с результатами численного моделирования, наземными геофизическими исследованиями и другими геолого-геофизическими данными.

### **Анализ структуры и содержания диссертации**

Диссертационная работа Чугаева А.В. состоит из введения, 4-х глав и заключения. Работа изложена на 247 страницах, содержит 159 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 280 наименований, в том числе 141 зарубежный источник.

Во **введении** отражается актуальность работы, сформулирована цель, задачи исследований, научные положения, научная новизна, практическая ценность работы и реализация проведенных исследований. Перечислены методы исследований, апробация, публикация работы, связь с крупными научными программами и темами.

**Первая глава** содержит литературный обзор с целью демонстрации современного состояния скважинных сейсмических исследований. Обоснованы и сформулированы основные задачи, стоящие перед скважинными исследованиями на месторождении водорастворимых полезных ископаемых. Сделан вывод о необходимости вовлечения отраженных и преломленных волн для решения инженерно-геологических задач.

Описана методика численного моделирования объема первой зоны Френеля для оценки разрешающей способности разрабатываемых технологий скважинных сейсмических исследований.

**Вторая глава** посвящена описанию разработанных способов изучения породного массива, основанных на изучении различных классов волн:

отраженных, преломленных, преломлено-отраженных. В частности, разработан способ получения глубинного сейсмического разреза при проведении межскважинного просвечивания, включающий предварительное получение скоростного распределения, выделение поля отраженных волн, миграцию, суммирование и построение глубинного сейсмического разреза. Теоретически обосновано применение головных преломленных волн для изучения околоскважинного и межскважинного пространства. Предложена оригинальная методика суммирования головных волн, регистрируемых в скважинах, с последующим выделением преломлено-отраженных волн как от горизонтальных, так и от субвертикальных границ.

Для контроля строительства шахтных стволов способом замораживания горных пород предложено применять способ профилирования на отраженных волнах в скважинном варианте. Такой подход позволяет напрямую картировать границы ледопородного ограждения и определять его толщину на всех этапах замораживания.

**Третья глава** посвящена внедрению технологии распределенных волоконно-оптических измерительных систем в практику сейсмоакустических исследований. В теоретическом отношении важным результатом является получение аналитической зависимости амплитудно-частотной характеристики с учетом базы приема и угла падения волны на оптоволоконный кабель. С практической точки зрения важно проведенное сравнение стандартных сейсмических датчиков и оптоволоконной измерительной системы. При этом сделан вывод о корректности формы сигнала получаемой оптоволоконной системой в регистрируемом частотном диапазоне. Для проведения межскважинного просвечивания показана целесообразность применения спирального оптоволоконного кабеля. Анализ энергетических характеристик регистрируемых сигналов позволил напрямую сравнить чувствительность оптоволоконной системы и гидрофонов и получить численное соотношение двух регистрирующих систем.

**В четвертой главе** рассматриваются практические примеры реализации предложенных методических и технических решений, для решения горно-



технических и инженерно-геологических задач. Наиболее полно методические решения опробованы при мониторинге шахтных полей Верхнекамского месторождения солей. Изучение массива выполняется различными способами, включая межскважинное просвечивание и вертикальное сейсмопрофилирование с применением различных классов волн: прямых, преломленных, отраженных и преломленно-отраженных. По данным межскважинного просвечивания на отраженных волнах построены глубинные сейсмические разрезы, включающие также и отражения ниже забоя скважин. На одном из участков реализована технология мониторинга с применением оптоволоконных датчиков. Отмечено, что такая система может быть использована также и для мониторинга оснований зданий и сооружений повышенной ответственности.

В качестве отдельного направления применения скважинных сейсмических исследований выделен контроль возведения ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов. Здесь предлагается использовать комплекс методов, включающий межскважинное просвечивание и оригинальную методику скважинного профилирования на отраженных волнах.

Приведены любопытные результаты межскважинного просвечивания, выполняемого из горных выработок. Здесь отмечен высокий частотный состав полезного сигнала при значительных расстояниях между скважинами. В данном примере ярко проявляются достоинства комплексного подхода при геологической интерпретации скоростного и акустического разрезов.

В **заключении** кратко сформулированы основные результаты работы и перспективы дальнейших исследований.

### **Значимость для науки и практики**

Полученные результаты позволяют выполнять комплексную интерпретацию данных межскважинного просвечивания на основании совместного изучения прямых, отраженных, преломленных и преломленно-отраженных волн.

Одним из наиболее значимых результатов является комплекс сейсмического контроля при возведении шахтных стволов и тоннелей способом замораживания горных пород, включающий межскважинное просвечивание и скважинную методику многократных перекрытий.

Суммирование головных волн позволяет получать дополнительную информацию о массиве за счет изучения преломленно-отраженных волн, что важно при поиске и локализации вертикально-ориентированных границ.

Разработанная система скважинного онлайн-мониторинга на базе распределенных оптоволоконных датчиков позволяет выполнять контроль состояния верхней части разреза, а также оснований зданий и сооружений в зонах развития опасных природно-техногенных процессов.

#### **Соответствие содержания автореферата основным научным положениям диссертации**

Автореферат написан четко и лаконично. Содержание автореферата полностью отражает суть и конкретику заявленных научных положений.

#### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 38 работ, 18 относятся к международным системам цитирования (Scopus и WoS), 14 опубликовано в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Зарегистрировано 3 патента.

#### **Достоинства и недостатки диссертационной работы, замечания по работе**

В диссертационной работе Чугаева Александра Валентиновича рассмотрен широкий круг вопросов, связанный с развитием скважинных сейсмических исследований для решения горнотехнических задач, возникающих при эксплуатации водорастворимых месторождений полезных ископаемых. Основным достоинством работы является комплексный многоволновой подход при обработке сейсмических данных, который позволяет выявить особенности геологического строения за счет проявления в различных атрибутах волнового поля.



**В ходе знакомства с работой возникли следующие замечания и вопросы:**

1. Мало внимания уделено описанию применяемого сейсморазведочного оборудования. В частности, отсутствует описание используемых приборов и их технические характеристики. То же самое касается и программного обеспечения. Используется ли российское или зарубежное оборудование и программное обеспечение.

2. В работе применяются методы, основанные только на продольных волнах, регистрируются ли на сейсмограммах поперечные волны, и почему они не представлены в работе?

3. Из текста диссертационной работы не ясно, как для оптоволоконных датчиков определяется пространственный шаг между каналами и каким образом выполняется привязка каналов в кабеле к положению в массиве?

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки результатов диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Чугаева Александра Валентиновича на тему «Теоретические основы и практика малоглубинных скважинных сейсмических исследований при эксплуатации месторождений водорастворимых полезных ископаемых», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 - «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно рассматривать как научно обоснованный комплекс технических и технологических решений для выполнения малоглубинных скважинных сейсмических исследований, проводимых при эксплуатации месторождений водорастворимых полезных ископаемых, внедрение которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов

представленная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года (с добавлениями и изменениями), а ее автор, Чугаев Александр Валентинович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 - «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Отзыв ведущей организации рассмотрен и одобрен на расширенном заседании лаборатории сейсмометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук 07 ноября 2024 г. (Протокол № 2).

Отзыв подготовил заведующий лабораторией сейсмометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геофизики им. Ю. П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук, кандидат технических наук

Воскресенский Михаил Николаевич

тел: +7-906-803-2069

email: Voskresenskiy.mn@gmail.com

**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук (ИГФ УрО РАН).

Адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 100

Телефон +7 (343) 267-88-68

e-mail: igfuroran@mail.ru

Подпись Воскресенского Михаила Николаевича удостоверяю:

