



УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБУН Институт геофизики
им. Ю.П. Булашевича
к. т.-м. н. Козлова И.А.

«4» апреля 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Царева Романа Ильича**
«Методология малоглубинной сейсморазведки на месторождениях калийных солей»
по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных
ископаемых, на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертационная работа Царева Романа Ильича посвящена сейсморазведочным исследованиям месторождений калийных солей с целью поиска геотектонических нарушений, не выделенных на этапе буровых и скважинных исследований.

Актуальность темы

На этапе эксплуатационной разведки на Верхнекамском месторождении солей (ВКМС) проводится бурение солеразведочных скважин по сети 1×1 км и 2×2 км с целью определения геологического строения. Вокруг ствола пройденной скважины оставляют целики, в пределах которых горные работы не ведутся. Диаметр этих целиков составляет 150-250 м. Столь редкая сеть разведочных скважин приводит к тому, что многие особенности геологического строения промышленных пластов и водозащитной толщи (ВЗТ) остаются невыявленными. К таким особенностям относятся дизъюнктивные и пликативные тектонические дислокации соляной толщи, присутствие которых негативно сказывается на безопасности при эксплуатации калийных рудников и потере запасов полезных ископаемых.

Детализация геологического строения в межскважинном пространстве остается за геофизическими методами, в частности, на проектируемых к отработке площадях шахтных полей предусматривается проведение опережающих наземных сейсморазведочных работ.

Научная новизна:

1. Автор предлагает использовать взрывной источник упругих колебаний при зарядах взрывчатого вещества (ВВ) весом от 10 до 1000 г, погруженных на забой скважин глубиной от 1 до 30 м. Работы в профильном исполнении на современном аппаратурно-программном уровне на ВКМС, с целью изучения соляной толщи, ранее не проводились.

2. Уменьшение шага между пунктами приема (ППр) до 2–5 м, шага пунктами возбуждения (ПВ) до 4–10 м позволяет повысить кратность наблюдений в целевом интервале разреза. Использование одиночных датчиков высокой чувствительности с предложенным шагом позволит отказаться от группирования.

3. Использование тонкослоистой сейсмогеологической модели толщи ВКМС построенной по данным АК с тектоническими дислокациями различных размеров, позволит, при решении прямой задачи, учесть особенности распространения волны максимально приближенные к реальным условиям. Ранее применялась эффективная сейсмическая модель (ЭСМ), отражающая геологический разрез в виде нескольких пластов большой мощности.

4. Разработана методика динамической интерпретации на основе атрибутивного анализа синтетических данных. Выделены основные типы тектонических дислокаций при которых происходит изменение волновой картины, это зоны интенсивной складчатости и

зоны замещения большой мощности. Разработан и внедрен алгоритм преобразования и визуализации результатов атрибутного анализа. В рамках алгоритма, производится регрессионный анализ характеристик волновой картины и моделей с различными тектоническими дислокациями, который позволяет выделить набор атрибутов, реагирующих на конкретные дислокации известного размера. Разработано программное обеспечение AtAn, реализующее алгоритм предлагаемой методики динамической интерпретации.

Цели и задачи

Целью диссертационной работы является обоснование применения взрывного источника упругих колебаний при проведении малоглубинной сейсморазведки и установление закономерностей между присутствием в разрезе тектонических дислокаций различных типов и изменением значений атрибутов сейсмической записи на основе конечно-разностного численного моделирования.

Основные задачи, решаемые в рамках диссертации:

1. Проведение опытных полевых работ и сравнение результатов, полученных с применением импульсного порохового и взрывного источников упругих колебаний, анализ полученных материалов, обоснование параметров системы наблюдений и выбор оптимального источника упругих колебаний.
2. Анализ влияния процедур обработки сейсморазведочных данных, на итоговый результат – временной разрез. Корректировка графа обработки с учетом требований, предъявляемых к данным для последующей динамической интерпретации. Применение данных геофизических исследований скважин (ГИС) в процессе обработки и интерпретации сейсморазведочных данных.
3. Обоснование применения сейсмического моделирования в процессе проведения сейсморазведки на ВКМС, анализ и выбор оптимальных параметров моделирования. Построение тонкослоистых моделей геологической среды на основе АК с тектоническими дислокациями, встречающимися на ВКМС.
4. Определение закономерностей между изменением атрибутов регистрируемого сигнала и наличием различных тектонических дислокаций, на основе которого обосновать применение атрибутного анализа при поисках тектонических дислокаций в соляной формации на ВКМС. Разработать алгоритм и программное обеспечение, позволяющее оперативно обрабатывать, визуализировать и проводить регрессионный анализ атрибутов.
5. Проведение апробации предлагаемых подходов при проведении опытно-методических испытаний в реальных условиях ВКМС. При достижении положительного результата рекомендовать предлагаемые технологии и методики для внедрения в процесс сейсморазведочных работ на Верхнекамском месторождении солей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Сейсморазведочные работы методом отраженных волн (МОВ) по методике общей глубинной точки (МОГТ) на ВКМС занимают лидирующие позиции по объемам производимых геофизических исследований как в наземном, так и в шахтном вариантах. Горные работы на ВКМС продвигаются к краевым частям месторождения, которые характеризуются гораздо более сложными горно-геологическими условиями. Поэтому вопрос совершенствования существующих методов изучения ВЗТ и поисков тектонических дислокаций стоит остро.

Практическая и теоретическая значимость результатов исследований автора заключается в следующем:

1. Применение взрывного источника упругих колебаний при проведении наземных работ дает прирост в качестве регистрируемых данных (соотношении сигнал/шум), тем самым значительно увеличивает надежность всех последующих этапов сейсморазведки и, как следствие – результатов геологической интерпретации.
2. Сейсмическое моделирование с применением данных ГИС позволяет изучить особенности распространения сейсмических волн в условиях близких к естественному

залеганию пород. Адекватная геологическому строению тонкослоистая сейсмогеологическая модель изучаемой среды и понимание процесса распространения упругих волн создает основу для корректной обработки и интерпретации геофизических материалов, ключ для решения обратной задачи.

3. Переход к динамической интерпретации на новом технологическом уровне с применением разработанного алгоритма атрибутного анализа позволяет получить дополнительную информацию о геологическом строении участка исследований и производить поиск тектонических дислокаций.

Степень достоверности и апробация результатов

Диссертация отражает результаты научных исследований, выполненных в период учебной и трудовой деятельности автора с 2010 по 2021 г в организациях ФГАОУ ВО «ПГНИУ», ООО «ППИ-Геофизика» и АО «ВНИИ Галургии». Разработанные методики и технологии, описанные в диссертации, внедрены в процесс разведочных работ на Верхнекамском месторождении солей.

Автором написано и опубликовано 24 статьи, из них 10 в рецензируемых изданиях ВАК и 11 индексируемых в Scopus. Результаты исследований докладывались на конференциях: Международная научно практическая конференция «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики», ПГНИУ, г. Пермь, 2014 г; Международная научно-практическая конференция «Инженерная и рудная геофизика 2019», г. Геленджик, 2019 г; Научно практическая конференция «Инженерная сейсморазведка и сейсмология», г. Москва, 2019 г; Международная научно практической конференция, приуроченная к 90-летию со дня основания института «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, 2019 г; Международная научно-практическая конференция «Инженерная и рудная геофизика 2020», г. Пермь, 2020 г; Международная научно-практическая конференция «РУДНИК», Выставка-форум «Нефть и газ. Химия 2020 г.», 2020 г; Международная геолого-геофизическая конференция ГеоЕвразия 2021. Геологоразведка в современных реалиях», 2021 г; Международная научно-практическая конференция «Инженерная и рудная геофизика 2021», г. Геленджик, 2021 г.

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие в разработке «Способа шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений» (ПВРО), позволяющего получать структурные построения недостижимой ранее детальности при высокой оперативности. Автором лично проведены опытные полевые сейсморазведочные исследования с целью обоснования и выбора источника упругих колебаний, предложено использовать взрывной источник для изучения малых глубин, проведен анализ архивных данных геофизических исследований скважин, построено более 80 тонкослоистых геолого-геофизических моделей, теоретически и экспериментально обосновано применение атрибутного анализа для обнаружения тектонических нарушений, проведена апробация предлагаемой методики динамической интерпретации.

Краткая характеристика структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, основной части с шестью главами и заключения. Работа изложена на 186 страницах, включая 105 иллюстраций, 2 таблицы, список сокращений и условных обозначений, список литературных 13 источников из 42 наименований и 1 приложение.

В первой главе рассматривается объект исследований, а именно Верхнекамское месторождение калийных солей, которое является основной сырьевой базой калийной промышленности Российской Федерации. Приводятся географические и геологические сведения по месторождению, его стратиграфия, литология, тектоника, характеристики соляной толщи.

Вторая глава описывает технологию полевых работ при проведении малоглубинных сейсморазведочных исследований. В главе подробно описана разработанная автором технология полевых сейсморазведочных работ, основанная на

использовании взрывного источника упругих колебаний при изучении малых глубин. Проведены опытные работы на одном из участков Верхнекамского месторождения солей по сравнению источников упругих колебаний, в частности импульсного порохового и взрывного источников. Данная технология позволяет получить сейсмический материал высокого качества, удовлетворяющий требованиям для проведения кинематической, динамической и геологической интерпретации.

В третьей главе проведены исследования по обоснованию выбора параметров моделирования, позволяющих приблизиться к реальным геологическим условиям месторождения. Построенная по данным акустического каротажа тонкослоистая геолого-геофизическая модель среды, позволяет по результатам сейсмического моделирования оценить применимость сейсморазведки к разным геологическим условиям, учесть эффекты интерференции элементарных и многократных отражений, затухание, влияние поверхностных волн, дисперсию и конверсию типов волн и установить перспективность метода для выделения тектонических нарушений.

Четвертая глава посвящена разработанной технологии обработки, основанной на совместном использовании данных сейсморазведки с данными акустического каротажа, детальном учете поверхностных условий и верхней части разреза, минимальном использовании процедур пространственно-временной фильтрации. Технология позволяет сохранить особенности сейсмического материала для проведения интерпретации. Проведено исследование процесса цифровой обработки малоглубинных сейсморазведочных материалов, по результатам которых автором установлено, что в условиях малоконтрастной соляной толщи нужно внимательно относиться к выбору процедур обработки. В ходе исследований выявлены процедуры как положительно влияющие на получаемый результат, так и отрицательно.

В пятой главе автором предлагается методика динамической интерпретации данных малоглубинной сейсморазведки, основанная на регрессионном анализе сейсмических атрибутов, позволяет изучать особенности геологического строения соляной толщи и выделять тектонические нарушения. В основе предложенной автором методики поисков тектонических дислокаций в условиях Верхнекамского месторождения солей лежит атрибутный анализ, поскольку выделить отдельные отражения от границ тонких слоев в малоконтрастной толще практически невозможно, однако суммарный вклад пачек в интерференционную волновую картинку может быть вполне ощутимым. Этот вклад проявляется в таких особенностях рисунка сейсмической трассы, как относительная амплитуда того или иного экстремума, своеобразие формы колебаний, изменение их видимого периода, частоты и т. п.

Шестая глава диссертации посвящена апробации предложенной автором методики интерпретации, которая позволяет спрогнозировать наличие зон интенсивной складчатости в строении соляной толщи. Анализ результатов динамической интерпретации и структурных особенностей залегания кровли ПП и пласта МГ, изменение глубины залегания этих границ, позволяет оценить полноту ВЗТ и выявить аномальные области, связанные с тектоническими дислокациями и другими геологическими процессами. В рамках проведенных исследований на опытном участке ВКМС с целью апробации, разработанных автором методик и технологий, установлена работоспособность всех этапов производства работ.

В заключение автором кратко перечислены основные результаты диссертационной работы.

Вопросы и замечания по работе:

1. Стоит отметить, что автор не делает анализа ранее выполненных работ и не приводит работы предшественников. Хотя на Верхнекамском месторождении солей было проведено достаточно большое количество сейсморазведочных работ, в том числе и с разными источниками.

2. То, что использование взрывного источника при проведении сейсморазведочных работ обеспечивает получение более контрастных сейсмограмм (по сравнению с механическими поверхностными источниками) известно давно и описано в многих статьях и монографиях. Однако в последние десятилетия в мире господствует тенденция отказа от взрывных источников, например в силу их неэкологичности. Поэтому возникает вопрос: почему автор все же решил прибегнуть к использованию взрывных источников?

3. Почему автор не попытался применить систему синхронных накоплений сейсмических данных? В ряде случаев эта процедура значительно повышает отношение сигнал/помеха, что в свою очередь ведет к улучшению контрастности сейсмограмм.

4. Автором предлагается «использовать одиночные сейсмоприемники высокой чувствительности...» (автореферат, стр.8). Какие именно сейсмоприемники предлагаются на замену ранее применяемых (сравнительные характеристики)? Имеются ли положительные примеры подтверждающие преимущество одиночных сейсмоприемников высокой чувствительности от стандартного группирования?

5. Разрезы ССА на рис. 11 автореферата не являются показательными: трудно вообще хоть что-нибудь выделить на основании этих картинок. Целесообразно ли вообще приводить такие материалы в автореферате?

6. Какие наиболее характерные сейсмические атрибуты входящие в ССА позволяют выделять зоны интенсивной складчатости в соляных горизонтах?

7. Применяется ли атрибутивный анализ при изучении карстоопасных процессов и выделении ослабленных зон?

8. В разделе 5.3. диссертации подробно рассматриваются различные варианты моделирования. Прослеживается зависимость результатов атрибутивного анализа от типа и размеров геологической неоднородности. Однако, рисунок 63 не является наглядным примером работоспособности алгоритма. Возможно, следует иначе продемонстрировать те выводы, которые автор хотел донести в указанном разделе работы?

Заключение

Отмеченные замечания не влияют на положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации. Диссертация написана ясным, понятным языком. В целом работа выполнена на современном научном и техническом уровне, четко структурирована и оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат достаточно подробно и адекватно отражает основные идеи и выводы диссертационной работы.

Основные защищаемые положения и пункты новизны с достаточной полнотой изложены в 24 публикациях, в том числе в 10 работах, включенных в список ВАК и 11 индексируемых в Scopus. Результаты работы апробированы на региональных, Всероссийских и международных выставках и конференциях.

Диссертационная работа «Методология малоуглубинной сейсморазведки на месторождениях калийных солей» является в целом завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, квалифицируемые в совокупности как новое научное достижение в геофизике.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям, установленным в пункте 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Царев Роман Ильич заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании научного семинара лаборатории сейсмометрии ИГФ УрО РАН и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации 4 апреля 2022 г (Протокол № 1).

Автор отзыва, Сенин Л. Н., согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Царева Р. И. в Диссертационном совете Д 999.234.02 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе и их дальнейшую обработку.

Заведующий лабораторией
сейсмометрии ИГФ УрО РАН,
доктор технических наук



Сенин Лев Николаевич

Тел. 8(343)2679567
Адрес: 620016, Екатеринбург,
ул. Амундсена, 100.
E-mail: selenik@rambler.ru

