

О Т З Ы В

официального оппонента Путилова Ивана Сергеевича

на диссертацию **Царева Романа Ильича**

«МЕТОДОЛОГИЯ МАЛОГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых»

1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Царева Р.И. посвящена развитию малоуглубинной сейсмодразведки на месторождениях калийных солей, в ней приведено развернутое обоснование предлагаемых подходов для решения задач эксплуатационной разведки, в частности, для получения по результатам сейсмодразведки качественных полевых материалов, ведения обоснованной обработки и получения объективных результатов интерпретации данных. Поэтому тема диссертационных исследований представляется актуальной, а поставленная цель – теоретическое и экспериментальное обоснование применения взрывного источника упругих колебаний при проведении малоуглубинной сейсмодразведки и установление закономерностей между присутствием в разрезе тектонических нарушений различных типов и изменением значений атрибутов сейсмической записи на основе полноуглубинного конечно-разностного численного моделирования – в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

2. Степень обоснованности научных положений, достоверность результатов исследований

Теоретическое обоснование каждой методики исследований подкреплено данными численного моделирования и подтверждается результатами опытно-методических работ, выполненных при апробации методологии.

Достоверность результатов сейсмодразведочных исследований по представленным в диссертации методикам подтверждается соответствием их геологическому строению, установленному по данным прямых методов: бурению детальных разведочных скважин с поверхности и из шахты, проходкой горных выработок.

Основные результаты исследований, полученные соискателем, опубликованы в 24 статьях, из них 10 в рецензируемых изданиях ВАК и 11 индексируемых в Scopus и Web of Science. Результаты исследований докладывались на девяти международных конференциях. В рамках работы

над диссертацией разработано программное обеспечение AtAn, позволяющее проводить динамическую интерпретацию на основе анализа атрибутов волнового поля, получено свидетельство о регистрации программы.

Научные положения, вынесенные на защиту, имеют необходимую доказательную базу. Достоверность результатов диссертационных исследований сомнения не вызывает.

3. Значимость полученных результатов для науки и практики

1. Сформирована тонкослоистая сейсмогеологическая модель ВКМС построенная по данным АК с добавлением пликативных и дизъюнктивных тектонических нарушений различных размеров, позволяющая при решении прямой задачи, учесть особенности распространения волны, максимально приближенно к реальным условиям. Разработанная тонкослоистая модель ВКМС и полномасштабное сейсмическое моделирование на ее основе позволяет изучить особенности распространения сейсмических волн в условиях близких к естественному залеганию пород.

2. Предложено применение взрывного источника упругих колебаний при малоглубинных сейсморазведочных исследованиях на ВКМС с использованием телеметрических многокомпонентных систем регистрации и современного программного обеспечения. Для стабильной регистрации основных отражений в целевом интервале соляной толщи на глубинах от 100 до 800 м предлагается использовать при возбуждении заряды взрывчатого вещества весом от 50 до 1000 г, погруженных на забой скважин глубиной от 1,5 до 30 м. Предлагаемая система наблюдений с использованием взрывного источника упругих колебаний при проведении малоглубинной сейсморазведки на ВКМС дает прирост в качестве регистрируемых данных (соотношении сигнал/шум), тем самым значительно увеличивает надежность всех последующих этапов сейсморазведки.

3. Разработана система наблюдений для изучения соляной толщи с шагом между пунктами приема от 2 до 5 м, шагом пунктов возбуждения от 4 до 10 м, позволяющая повысить плотность наблюдений (кратность) в целевом интервале разреза при соблюдении технико-экономической рентабельности. При регистрации предлагается использовать телеметрические системы с одиночными датчиками высокой чувствительности. Предлагаемая методика динамической интерпретации позволяет на новом технологическом уровне получить дополнительную информацию о геологическом строении участка исследований.

4. Разработана методика динамической интерпретации на основе АА синтетических данных, которая позволяет выделить основные типы тектонических дислокаций. Разработан и внедрен алгоритм преобразования и визуализации результатов АА. В рамках алгоритма, производится регрессионный анализ между значениями атрибутов волновой картины синтетических данных и исходных моделей с присутствием известных тектонических нарушений. Предложенный алгоритм позволяет выделить набор атрибутов, реагирующих на конкретные дислокации известного размера. Разработано программное обеспечение AtAn, реализующее алгоритм предлагаемой методики динамической интерпретации, получено свидетельство о регистрации программы.

В диссертации даны рекомендации по усовершенствованию технологии малоглубинной сейсморазведки МОВ МОГТ, применяемой при поисково-разведочных работах на месторождениях калийных солей. Проведено теоретическое и экспериментальное обоснование предлагаемых методик. Предложенные технологии и методики могут быть адаптированы на других месторождениях твердых полезных ископаемых по причине схожести сейсмогеологических условий проведения работ.

4. Оценка содержания диссертации, степени ее завершенности и качества оформления

Диссертационная работа Царева Р.И. состоит из введения, основной части из шести глав и заключения. Работа изложена на 186 страницах, включая 105 иллюстраций, 2 таблицы, список сокращений и условных обозначений, список литературных источников из 42 наименований и 1 приложение.

Во *введении* показана актуальность исследований, сформулированы цель и задачи работы, отражена научная и практическая значимость полученных результатов.

В *первой главе* подробно рассмотрен объект исследований – соляная толща Верхнекамского месторождения солей, дана её характеристика. Описано геологическое строение, тектоника и литология месторождения. Приводится описание основных геологических структур и тектонических нарушений, встреченных при разведке месторождения. Описываются основные параметры водозащитной толщи (ВЗТ) при проведении горных работ и условия безопасной эксплуатации калийных рудников.

Вторая глава посвящена теоретическому и экспериментальному обоснованию и совершенствованию методики проведения полевых сейсморазведочных работ для изучения соляной толщи месторождений калийных солей. Приведен анализ применяемой в настоящее время

технологии работ, указаны достоинства и недостатки. Проведено сравнение основных источников упругих колебаний, применяемых при малоглубинной сейсморазведке на ВКМС. Приводится обоснование применения взрывного источника упругих колебаний, указываются основные особенности при регистрации с использованием взрывного источника. Обосновываются параметры системы наблюдений и важность учета ВЧР, ЗМС и поверхностных условий. Сравняются временные разрезы по опытному участку на ВКМС, полученные с применением порохового импульсного источника и взрывного источника. Полученные результаты указывают на обоснованность применения взрывного источника.

В *третьей главе* представлены результаты моделирования на основе тонкослоистой модели ВКМС. Приведено обоснование параметров для построения тонкослоистой модели и решения прямой задачи. Описаны результаты моделирования, приведены модели и полученные синтетические данные. Моделирование проведено в два этапа. На первом этапе с использованием поверхностного источника, имитирующего распространение плоской волны в среде, что позволило дать экспресс-оценку получаемых материалов на основе синтетических разрезов. На втором этапе моделирование проведено с точечным источником сферической волны для более сложных моделей. Моделирование с использованием сферического источника позволило получить отдельные синтетические сейсмограммы. Построено более 80 тонкослоистых моделей ВКМС. Основные тектонические нарушения, которые заложены в модели: зона замещения, зона складчатости, трещиноватая зона, зона дробления, разрывные нарушения, флексуры, антиклинальные и синклинальные одиночные складки. Полученные результаты позволили определить возможности сейсморазведки в условиях, приближенных к реальному залеганию соляной толщи.

В *четвертой главе* рассмотрены особенности цифровой обработки данных при малоглубинных сейсморазведочных работах в условиях малоконтрастной соляной толщи. Обосновано негативное влияние применения пространственно-временной (когерентной) фильтрации и коррекции статических поправок (расчет и ввод высокочастотной статики). При определенных параметрах оператора и многократном применении этих процедур данные становятся сглаженными, а в местах отсутствия полезного сигнала начинают проявляться протяженные оси. Представлено подробное описание предлагаемого графа обработки с параметрами процедур и примерами сейсмограмм после применения этих процедур. Обоснована важность сейсмического моделирования при привязке

сейсмических данных, подробно описан процесс привязки, рассмотрены примеры с разных участков ВКМС. Приведен пример результатов привязки поверхностных сейсморазведочных работ к шахтным.

В *пятой главе* предложена методика динамической интерпретации на основе атрибутного анализа синтетических данных. Подробно рассмотрен предлагаемый алгоритм регрессионного анализа, основанный на корреляционной связи отдельных атрибутов (всего рассмотрено 16 модификаций атрибутов) с параметром присутствия определенного тектонического нарушения с известными геометрическими характеристиками. Представлено программное решение предлагаемого алгоритма динамической интерпретации – программа AtAn. Приводятся результаты атрибутного анализа. Установлены некоторые важные закономерности, например, часть атрибутов реагирует на неоднородности одного типа разных размеров разнонаправленно (положительно или отрицательно), что в итоге можно оценить, как отсутствие корреляции. Есть атрибуты, которые реагируют относительно закономерно (положительно или отрицательно). Устойчиво, то есть одним набором атрибутов, фиксируются только протяженные зоны интенсивной складчатости. Остальные нарушения на основе изученных атрибутов надежно выделить не представляется возможным.

В *шестой главе* показаны результаты апробации предлагаемых технологий. Описана постановка задачи для проведения опытно-методических исследований. По предложенной методике динамической интерпретации, основанной на атрибутном анализе, спрогнозировано наличие зон интенсивной складчатости в строении соляной толщи. Комплексный анализ результатов атрибутного анализа и структурных особенностей залегания пластов переходной пачки (ПП) и МГ, различий в глубинах между этими пластами позволяет оценить полноту ВЗТ и выявить аномальные области, связанные с геологическими процессами в соляной формации.

В *заключение* перечислены основные результаты исследований, отражающие решение поставленных задач.

Главы диссертации выдержаны по стилю, текст написан грамотным научным языком, главы содержат анализ современного состояния исследований, описано геологическое строение участка проведения работ, приведено теоретическое обоснование, базирующееся на результатах моделирования, присутствует подробное описание технологии работ и методологии, обработки и интерпретации материалов, результатов экспериментального обоснования на фактических примерах.

Текст автореферата диссертации изложен по защищаемым положениям в порядке, соответствующем основным главам диссертации.

5. Замечания к диссертационной работе

1. Основные результаты атрибутивного анализа синтетических данных представлены в сводной таблице 2 на стр. 116, которая ссылается на таблицу 1 на стр. 70. Для того, чтобы детально изучить эти материалы необходимо несколько раз перелистывать страницы. Для удобства восприятия текста следовало продублировать в таблице 2 геометрические размеры тектонических нарушений из таблицы 1.

2. В диссертационной работе приведен подробный сравнительный анализ трех типов источников упругих колебаний, а именно механического, импульсного порохового и взрывного. Для полноты проведенных исследований следовало еще привести результаты применения вибрационного источника. Применялся ли вибрационный источник для изучения соляной толщи Верхнекамского месторождения солей?

3. Методика привязки сейсморазведочных данных к результатам акустического каротажа, изложенная в разделе 4.3 не вызывает сомнений, но на рис. 48 (стр. 102) синтетический и наблюдаемый разрезы отличаются друг от друга, хотя и имеют общие черты в интервале соляной толщи. В тексте это различие объясняется значительным расстоянием (1,5 км) от профиля до скважины. С чем могут быть связаны подобные изменения?

6. Заключение

Диссертационная работа обладает внутренним единством и является завершенным научным трудом, содержащим новые научные результаты, выдвигаемые на защиту. Результаты диссертационной работы имеют методическое, технологическое значение и носят прикладной характер. Выводы диссертационных исследований не противоречат существующим теоретическим представлениям, их достоверность подтверждается многочисленными примерами апробации и большим объемом фактических данных.

Основные результаты исследований получены автором лично или при его непосредственном участии, в достаточном объеме отражены в публикациях рецензируемых российских и зарубежных научных изданий. Требования по указанию соавторства, ссылок на источники заимствований и цитирования соискателем соблюдены.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» в области технических наук. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

Высказанные в отзыве замечания не умаляют значимость проведенных исследований.

Несмотря на замечания, считаю, что диссертационная работа Царева Романа Ильича на тему «МЕТОДОЛОГИЯ МАЛОГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная проблема развития методики малоуглубинной сейсмодразведки на месторождениях калийных солей по всему производственному циклу геофизических работ.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и отвечает критериям п.п. 9-14, установленным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Я, Путилов Иван Сергеевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

доктор технических наук (по специальности 25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений), доцент, заместитель директора Филиала по научной работе в области геологии, Филиала ООО "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг" "ПермНИПИнефть"



ИВ
Путилов Иван Сергеевич
«18» 04 2022 г.

Контактные данные: 614015, г. Пермь, ул. Пермская, д. 3а

Телефон: 89129845140

E-mail: Ivan.Putilov@pnn.lukoil.com

Подпись Путилова Ивана Сергеевича заверяю:

Ведущий специалист по кадрам

