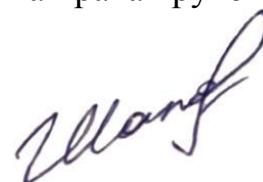


На правах рукописи



ШАПОВАЛОВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА
ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТИВНЫХ
ПЛАСТОВ НЕПСКОЙ СВИТЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ
3D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
СКВАЖИН**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков

полезных ископаемых

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень – 2020

Работа выполнена в ФГБУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Научный руководитель: **Кузнецов Владислав Иванович** - доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Прикладная геофизика» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Официальные оппоненты: **Шехтман Григорий Аронович**
доктор технических наук, Ведущий научный сотрудник ООО «НПП Спецгеофизика», г. Москва

Буддо Игорь Владимирович
кандидат геолого-минералогических наук, Главный геофизик ООО «СИГМА-ГЕО», г. Иркутск

Ведущая организация: Федеральное автономное учреждение «Западно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии и геофизики», г. Тюмень

Защита диссертации состоится 23 апреля 2020 года в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 при Тюменском индустриальном университете (ТИУ) по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, Институт геологии и нефтегазодобычи, аудитория 113.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте ФГБУ ВО «Тюменский индустриальный университет» www.tyuiu.ru и в библиотечно-информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72.

Отзывы, заверенные печатью учреждения, в 2 экземплярах просим направлять по адресу 625000, г. Тюмень, ул. Володарского 56, Тюменский индустриальный университет, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.273.05, Семеновой Татьяне Владимировне. Тел. 8(3452)39-03-39
e-mail: semenovatv@tyuiu.ru

Автореферат разослан 29 февраля 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Т.В. Семенова

Актуальность темы исследования.

28 декабря 2009 г. была введена в эксплуатацию первая очередь трубопровода “Восточная Сибирь–Тихий океан” (ВСТО) мощностью 30 млн. т. в год, а в декабре 2012 г. была сдана вторая очередь. Суммарная мощность проекта ВСТО – 50 млн. т. в год [Российская газета. 2012. 25 дек.]. Появление новых транспортных возможностей дало импульс развитию восточносибирского нефтяного кластера России. В последние годы многие месторождения Сибирской платформы, расположенные вдоль трассы нефтепровода, интенсивно эксплуатируются или подготавливаются к промышленной эксплуатации. В связи с этим, актуальность специальных исследований, обеспечивающих подготовить месторождений Восточной Сибири к промышленной эксплуатации, представляется крайне высокой.

Степень разработанности темы исследования.

Основным методом подготовки месторождения к эксплуатации является комплексная интерпретация данных разведочного бурения и сейсмических исследований методом отраженных волн общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) 3D. Этой теме посвящены многие монографии: Авербух А.Г., Алексеев А. С., Ампилов Ю. П., Афанасьев М. Л., Ахмедов Т. А., Глубоковских С. М., Денисов С. Б., Конторович В. А., Копилевич Е. А., Малярова Т. Н., Мандельбаум М. М., Птецов С. Н., Славкин В. С., Шубин А. В., Эпов К. А.

Как известно, сейсмическая интерпретация традиционно включает в себя две задачи - кинематическую и динамическую. Кинематическая задача, т. е. построение глубинно-скоростной модели и структурных карт отражающих горизонтов, для рассматриваемых районов менее актуальна, поскольку в условиях Сибирской платформы структурный фактор в большинстве случаев не является решающим для контроля залежей. Динамическая задача, т. е. прогноз фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) и насыщения резервуаров, напротив, является основной, поскольку именно геология резервуаров в основном определяет контуры скоплений углеводородов. Для решения динамической

задачи традиционно применяют атрибутивный анализ и различные виды инверсионных преобразований.

Уже первые сейсмические исследования Сибирской платформы показали, что сейсмогеологические условия названной территории коренным образом отличаются от условий Западно-Сибирской равнины, для которых в течение полувека создавались и отрабатывались сейсмические технологии прогноза свойств резервуаров.

Поисковые и разведочные геофизические работы на исследуемой территории проводились с 1975 по 1990 гг. За эти годы была исследована большая часть площади Непского свода и прилегающих прогибов, были выделены основные нефтегазоперспективные районы, открыты крупные месторождения (Верхнечонское, Дулисьминское, Ковыктинское, Ярактинское). Наиболее распространённый метод исследований территории, так называемый корреляционный метод прямых поисков, основанный на поиске зон поглощения высокочастотной составляющей сейсмических волн.

В тот же период были получены положительные результаты с использованием многоволновой сейморазведки. На основе скоростей распространения продольных и поперечных волн рассчитывался коэффициент Пуассона, который затем интерпретировался с точки зрения наличия или отсутствия УВ. Было установлено, что уменьшение этого параметра устойчиво коррелируется с наличием углеводородов в разрезе.

Особенности геологического строения Непско-Ботубинской антеклизы позволяют активно использовать для поиска углеводородов другой геофизический метод – метод электроразведки. Карбонатно-галогенная часть разреза обладает высокими сопротивлениями (порядка 100 Ом·м), неколлектора терригенной части – средними (около 20 Ом·м), а коллектора, за счет насыщения богатыми ионами солей водами, – на порядок ниже (около 1 Ом·м). Насыщение коллектора углеводородами закономерно повышает его сопротивление и позволяет оконтурить зоны смены низкого сопротивления водонасыщенных коллекторов на высокоомные участки нефтенасыщенных коллекторов.

Комплексирование данных электроразведки с другими геологическими и геофизическими методами позволило с высокой степенью достоверности выделить скопления углеводородов сначала в Иркутской области, а затем и в Якутии (Даниловское, Дулисьминское, Таас-Юряхское, Нижнехамкинское месторождения).

Развитие цифровой регистрации сейсмических данных дало импульс геологоразведочным работам с использованием МОВ-ОГТ во всех перспективных районах как за рубежом, так и в СССР. Не стала исключением и Восточная Сибирь. Основные исследования были сконцентрированы в ранее выделенном районе, перспективном на нефть и газ, – Непском своде. Наиболее значимым результатами исследований явилось установление корреляционных связей между параметрами сейсмической записи и свойствами ФЕС крупнейших месторождений - Верхнечонского, Ярактинского, Игнялинского. Следующий этап изучения территории – детализационные работы на открытых месторождениях (1990-2000 гг.), позволившие уточнить структуру целевых пластов, тектонические модели залежей, фильтрационно-емкостные параметры пород-коллекторов, оконтурить региональную зону трансгрессивного выклинивания терригенных отложений на востоке Непского свода.

Ранее проведённые исследователями работы показали, что значительные затруднения для прогноза ФЕС продуктивных пластов по данным сейсморазведки создают следующие факторы:

- сложное строение верхней части разреза (ВЧР), ухудшающее качество полевых сейсмических материалов. Распространение траппов в ВЧР по площади крайне неравномерно. В силу своих аномальных акустических характеристик траппы действуют как акустические экраны, внося искажения и в динамическую, и в кинематическую часть записи;

- малые толщины целевого терригенного интервала (пласты В10, В13 от 0 до 50–60 м (в зависимости от территории исследования));

- высокий акустический контраст между целевым интервалом (терригенные породы) и вмещающими (карбонаты сверху и метаморфический фундамент

снизу) породами, приводящий к тому, что динамика волнового поля определяется в основном геометрией и свойствами вмещающей толщи.

Большинство специалистов склоняются к выводу о значительно меньшей информативности динамических характеристик сейсмической записи МОВ-ОГТ для прогноза свойств Сибирской платформы по сравнению с аналогичными исследованиями Западной Сибири.

Вместе с тем, исследования специалистов Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГИМС) убедительно доказывают принципиальную возможность прогноза свойств коллекторов на территории Непско-Ботуобинской антеклизы с использованием динамических параметров сейсмической записи. В частности, было высказано предположение о том, что наиболее достоверную информацию о ФЕС коллектора содержат сейсмические амплитуды, однако качество материалов сейсморазведки МОВ-ОГТ 2D 1980-х гг. не позволило выйти на количественный прогноз этих параметров. Развитие технологий сейсморазведки только относительно недавно обеспечило возможность количественного прогноза ФЕС и насыщения по сейсмическим данным в Восточной Сибири. Тем не менее, по мнению автора настоящего исследования, существующие методы интерпретации данных МОВ-ОГТ имеют еще не использованные резервы для модификации и оптимизации алгоритмов под условия указанной территории. Поэтому именно сейчас становится крайне актуальной разработка новых методических приемов интерпретации сейсмических данных, направленных на повышение качества прогноза ФЕС основных продуктивных горизонтов Сибирской платформы.

Цель работы: разработка методики прогноза фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов непской свиты Сибирской платформы на основе комплексной интерпретации скважинных данных и материалов сейсморазведки МОВ-ОГТ 3D, обеспечивающей повышение достоверности прогноза геологического строения и свойств продуктивных пластов.

Задачи исследований:

Выполнение петрофизического обоснования возможности прогнозирования фильтрационно-емкостных свойств коллекторов по сейсмическим данным;

Выполнение анализа качества сейсмических данных и при необходимости их дообработки для целей инверсионных преобразований применительно к целевым терригенным пластам В10 и В13;

Изучение возможности прогноза фильтрационно-емкостных свойств при помощи инверсионных преобразований сейсмических данных с использованием синтетических моделей;

Разработка комплексной методики оценки упругих свойств для акустически-контрастных пластов, позволяющей получить максимально возможную сходимость прогнозных и реальных величин как для скважинных (скорости распространения продольной и поперечной волны, плотность), так и для сейсмических (амплитуда отражения) данных;

Разработка методики прогноза фильтрационно-емкостных свойств пород на основе комплекса данных сейсморазведки и геофизических исследований скважин для акустически контрастных пластов;

Апробация методики на данных крупного нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного в пределах северо-западной части Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы, в целях создания цифровой сейсмогеологической модели продуктивных пластов В10 и В13, пригодной для планирования и принятия решений по разработке.

Научная новизна. Ряд результатов настоящей работы **получен впервые:**

- Применительно к сейсмическим инверсионным преобразованиям в геологических условиях вендского терригенного комплекса доказано, что использование построенных на основе структурного каркаса резервуаров трендово-блоковых моделей упругих свойств устраняет неоднозначность положения акустических границ и обеспечивает максимальную точность восстановления акустических параметров слоев;

- По материалам репрезентативной выборки вертикальных и горизонтальных скважин глубокого бурения установлено, что использование динамических параметров сейсмических данных 3D в условиях высокой латеральной изменчивости литологии пластов В10 и В13 обеспечивает повышение достоверности прогноза ФЕС;

- На основе комплексной интерпретации керновых, скважинных и сейсмических 3D данных в вендском терригенном комплексе выявлены следующие неизвестные ранее элементы:

- шнурковые глинистые тела в пласте В10, рассекающие его на изолированные резервуары и контролирующие местоположение зон ухудшенных и улучшенных ФЕС;

- границы эрозионного срезания пласта В13 и локальные эрозионные выступы фундамента, контролирующие местоположение зон ухудшенных и улучшенных ФЕС.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Верхнечонское месторождение является основным и наиболее интенсивно разрабатываемым месторождением нефти в Восточной Сибири. Однако, постоянно растущий спрос на энергоносители стимулирует освоение и других месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы: Чаяндинского, Верхнепеледуйского, Тымпучиканского, Среднеботуобинского, Игнялинского, Даниловского, Вакунайского, Талаканского и других. Установлено, что все эти месторождения имеют сходную геологию, что в свою очередь, позволяет рассчитывать на схожесть особенностей их освоения.

Разработанная в рамках настоящей работы комплексная методика является универсальным инструментом интерпретации сейсмических данных для конкретного типа объектов – акустически аномальных тонких пластов. Такие объекты встречаются и в других регионах Российской Федерации. В качестве примера может быть названа баженовская свита в Западной Сибири, изучение которой становится весьма актуальным в свете тенденций перехода на разработку

сланцевых месторождений. Предлагаемая методика может использоваться во всех описанных выше случаях, что составляет **теоретическую значимость работы**.

Помимо разработки методики комплексной интерпретации, автором было выполнено уточнение геологического строения целевых пластов крупнейшего месторождения региона: даны прогнозы распространения зон улучшенных и ухудшенных ФЕС, построены контура геологических объектов внутри целевых пластов (линейные зоны глинизации, выступы фундамента и т.п.). Полученные результаты были интегрированы в геологическую модель продуктивных пластов, которая в настоящее время является базовой для разработки месторождения. Вышеизложенное составляет **практическую значимость работы**.

Методология и методы исследования.

Для разработки оптимальной методики комплексной интерпретации сейсмических данных МОВ-ОГТ 3D в условиях вендского терригенного комплекса Непско-Ботуобинской антеклизы автор использовал комбинацию моделирования и экспериментов как основных научных методов изучения объекта исследования.

Модели объекта «акустически аномальный пласт» содержали в себе такие значимые свойства реальных объектов, как геометрия и взаимное расположение пластов, а также такие физические свойства, как плотности пород и скорости распространения упругих волн в среде.

На стадии эксперимента к моделям применялись общеизвестные и адаптированные к конкретным геологическим условиям методики интерпретации и преобразования волновых полей.

Получение новых геологических знаний об объекте исследования основывалось на принципе аналогии. Выбранная на экспериментальной стадии исследований методика интерпретации сейсмических данных, основанная на использовании априорной блоковой модели вмещающей толщи, апробировалась на реальных данных МОВ-ОГТ 3D, что позволило транслировать установленные теоретические закономерности на фактические материалы.

Исходными фактическими материалами для исследований послужили:

- результаты полевых сейсморазведочных работ МОВ-ОГТ 3D в объеме 1508 км²;
- результаты промыслово-геофизических исследований по 72 поисковым и разведочным и 286 эксплуатационным скважинам.

Положения, выносимые на защиту:

- Пласты вендского терригенного комплекса Непско-Ботубинской антеклизы имеют большой акустический контраст между целевым интервалом и вмещающими породами, что является примером акустически контрастного слоя. Использование сейсмической инверсии, основанной на низкочастотной фоновой модели, не позволяет выполнить достоверный прогноз фильтрационно-емкостных свойств этих пластов из-за систематического искажения результатов на границах контрастных интервалов;
- Разработанная методика сейсмической инверсии, основанная на использовании трендово-блоковых моделей упругих свойств, обеспечивает максимальную компенсацию нехватки контрастности обратных динамических решений. В условиях вендского терригенного комплекса Непско-Ботубинской антеклизы применение такой методики для всех видов инверсий приближает прогнозные модели упругих свойств среды к реальным данным;
- Основными выявленными в ходе комплексной количественной интерпретации сейсмических данных элементами геологического строения, имеющими наибольшее значение для прогноза ФЭС и разработки, являются:
 - Для пласта В10 – шнурковые глинистые тела, рассекающие пласт на изолированные резервуары;
 - Для пласта В13 – границы эрозионного срезания пласта и локальные эрозионные выступы фундамента.

Степень достоверности научных выводов и результатов:

Использование при формировании модели физических свойств исследуемого объекта результатов геофизических исследований (методами АК, АКШ, ГГКп) по более чем 70 вертикальным и 280 горизонтальным скважинам,

что позволило заложить в модель свойства объектов, максимально приближенные к реальным геологическим телам;

Использование при стратиграфических построениях региональных маркеров, прослеженных во всех включенных в анализ скважинах;

Использование системы уравнений К. Цеппритца (K. Zoeppritz) при решении прямой и обратной задач сейсморазведки, что дало возможность получить сейсмограммы и акустические модели сред с учетом всех типов волн и истинным соотношением амплитуд отражения;

Результаты ретроспективного анализа подтверждаемости сейсмогеологической модели по данным 26 скважин, пробуренных постфактум.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на следующих семинарах, совещаниях и конференциях: 13-я конференция по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных «Геомодель-2011» (Геленджик, 2011 г.); II международный форум «Нефть и газ Восточной Сибири» (Москва, 2011 г.); 14-я конференция «Геомодель-2012» (Геленджик, 2012 г.); 6-я международная геолого-геофизическая конференция и выставка «Санкт-Петербург-2014. Геонауки — инвестиции в будущее» (Санкт-Петербург, 2014 г.); конференция «Современные технологии нефтегазовой геофизики» (Тюмень, 2016 г.); 4-я международная научно-практическая конференция «ГеоБайкал 2016».

Включенные в состав диссертационной работы материалы, научные результаты и выводы изложены в 12 публикациях по теме диссертации, в том числе в 4 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ; 2 статьях в сборниках трудов научно-исследовательских институтов, 6 тезисах докладов на конференциях и совещаниях.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения, содержит 164 страницы текста, 95 рисунков, 13 таблиц. Список литературы включает 133 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, определены научная новизна и практическая значимость результатов диссертационной работы.

В **главе 1** «Краткие сведения о геологическом строении района работ» содержится характеристика района исследований – Непско-Ботуобинской антеклизы. Рассмотрены общие сведения о районе работ, стратиграфическое строение осадочного чехла, тектоническая схема, перспективы района, связанные с запасами углеводородного сырья.

В **главе 2** «Обоснование применения инверсионных преобразований сейсмических данных при прогнозе фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) продуктивных пластов непской свиты» приводится описание возможности применения инверсионных преобразований на изучаемой площади для целей прогноза фильтрационно-емкостных свойств коллекторов нефти и газа целевых пластов. Теоретически установлено, что изменение литологии, пористости, плотности и т.д. ведет к изменению акустических свойств пород. Таким образом, исследовав взаимосвязь между упругими параметрами пород и их остальными свойствами, можно предсказывать распределение перечисленных выше атрибутов пород в межскважинном пространстве на основе сейсмических данных. Данное предположение и лежит в основе обоснования возможности выполнения инверсионных преобразований.

Связи керн-керн. Было установлено наличие связи коэффициента пористости замеренного на образцах керна и акустического импеданса (произведение скорости продольных волн по данным профильных исследований керна на плотность образцов). Для обоих пластов терригенного венда связь по керну оказалась очень плотной (коэффициенты корреляции 0.91 и 0.87 для пластов В10 и В13 соответственно).

Связи ГИС-ГИС. Была создана петрофизическая модель, увязанная с керновыми данными по ФЕС. При сопоставлении упругих свойств и ФЕС, было установлено наличие связи коэффициента пористости, рассчитанного по методам

ГИС, с акустическим импедансом, рассчитанным из кривых АК и ГГКп. Для пласта В₁₀ коэффициент корреляции оказался равен 0.69, для пласта В₁₃ – 0.61 соответственно. Кроме того, была обнаружена связь с линейной емкостью указанных выше пластов, что позволило выполнить расчет эффективной мощности, прогноз которой напрямую из упругих параметров затруднен.

Связи ГИС-сеймика. Были выявлены связи между упругими параметрами среды, рассчитанными по данным ГИС, и соответствующими амплитудами сейсмических отражений. Акустический импеданс (по скважинам) пласта В10 имеет тесную связь с амплитудой отражений в интервале горизонтов М2 и F. Для пласта В13 линейная связь акустического импеданса с амплитудами отсутствует в виду его малой мощности и нахождения в «тени» более мощных реперных отражений М2, VCh1 и F.

Отдельно была изучена возможность прогноза литологии с использованием инверсионных преобразований. Для этого были рассмотрены кроссплоты распределения литотипов в полях различных упругих параметров ($V_p, V_s, V_p/V_s, \rho, I_p, I_s$). Для каждого литотипа рассчитывалась статистическая функция плотности вероятности. В случае, если разделение между литотипами составляло более двух стандартных отклонений, делался вывод о возможности прогноза литологии из соответствующих упругих параметров. Так, было установлено, что разделение литотипа «засолоненный неколлектор» со всеми остальными литотипами возможно даже в поле акустического импеданса. Таким образом, прогноз зон развития засоления коллектора возможен при использовании акустической инверсии. Литотипы «коллектор» и «неколлектор» имеют тенденции к разделению в поле V_p/V_s-I_p , однако критерий двух стандартных отклонений не достигается. Целевые пласты сложены тонким переслаиванием глин и песчаников, что осложняет использование упругих методов в силу ограниченности их разрешающей способности. Кроме того влияние несовершенства конструкции скважины вносит шум в данные, что также приводит к уменьшению разделения литотипов. Для устранения этих эффектов было выполнено рокфизическое моделирование,

которое позволило получить разделение литотипов «коллектор», «неколлектор» и «засолоненный неколлектор» в поле V_p/V_s-I_p .

В главе 3 «Оценка влияния упругих параметров продуктивных пластов на сейсмические атрибуты по данным сейсмического моделирования» систематизирована информация для построения принципиальной модели вендского бассейна седиментации на территории Непско-Ботуобинской антеклизы. В ходе расчетов синтетических волновых полей были выполнены следующие эксперименты:

- Оценены изменения волнового поля, обусловленные «региональным» изменением мощности вендского терригенного комплекса;
- Оценены изменения волнового поля, обусловленные изменением импеданса пласта $ВЧ_1$ в зонах малых, средних и повышенных мощностей терригенного венда в пределах планшета сейсмической съемки;
- Оценены изменения волнового поля, обусловленные изменением импеданса пласта $ВЧ_2$ в зонах средних и повышенных мощностей терригенного венда в пределах планшета сейсмической съемки.

Результаты проведенных экспериментов дали информацию для анализа, на основании которого был сделан ряд значимых выводов. Общие выводы по результатам моделирования:

а) Выполненные эксперименты показали, что изменение акустических свойств целевых объектов $ВЧ_1$ и $ВЧ_2$ должно проявляться в волновом поле. Следовательно, существует основа для прогноза геологических параметров пластов $ВЧ_1$ и $ВЧ_2$ методами динамического анализа и инверсии волнового поля.

б) Установлено, что реакция суммарного волнового поля на изменения мощности терригенного венда и акустических параметров его основных стратонов очень сложна. Этот вывод позволяет сформулировать следующие принципы корреляции отражений, соответствующих вендскому терригенному комплексу:

- принцип фазовой корреляции может быть применен только к опорному отражению M_2 – кровле терригенного венда;

– отражения, соответствующие кровлям и подошвам пластов $VЧ_1$ и $VЧ_2$, на различных участках сейсмического куба могут быть прослежены только по различным элементам сейсмической записи с учетом априорных данных по распределению мощностей стратонов. На сегодняшний день оптимальным представляется расчет поверхностей T_0 , соответствующих кровлям и подошвам продуктивных пластов и их коррекция по сейсмическим данным в пределах эрозионных выступов.

в) Динамический анализ следует производить отдельно, как минимум, в двух зонах:

- в зоне малых мощностей терригенного венда;
- в зонах средних и повышенных мощностей терригенного венда.

В зоне малых мощностей терригенного венда установлена связь между амплитудой волнового поля в интервале залегания пласта $VЧ_1$ и его импедансом. Осложняющим прогноз фактором является зависимость амплитуд от акустических свойств коры выветривания. В зоне средних и повышенных мощностей терригенного венда установлена связь между амплитудой отражения $VCH1$ и импедансом пласта $VЧ_1$.

Помимо моделирования вертикального падения волны на границу раздела сред, было выполнено моделирование падения под углом и изучена зависимость амплитуды отражения от угла падения. Анализ полученных данных позволил прийти к следующим выводам:

а) AVO-атрибут $R0$ в основном определяется пористостью пласта, параметры матрицы оказывают возмущающее влияние;

б) AVO-атрибут $Grad$ в большей степени определяется параметрами матрицы пласта, чем AVO-атрибут $R0$;

в) Представляется целесообразным выполнить районирование территории по значению AVO-атрибута $Grad$ (как функции свойств матрицы пласта), а затем в каждом районе построить отдельные (более плотные) зависимости между амплитудными параметрами (например, AVO-атрибутом $R0$)

и параметрами ФЕС. Модельные данные не противоречат предложенной гипотезе.

В главе 4 «**Методика инверсионных преобразований**» представлена специальная методика инверсионных преобразований, призванная компенсировать проблемы, озвученные в главе 3.

В разделе 4.1 приведен обзор основных видов инверсионных преобразований, осуществлен анализ их достоинств и недостатков, выявлены основные проблемы, связанные с конкретной геологической ситуацией на Непском своде Непско-Ботубинской антеклизы. В конце главы предложена специальная методика инверсионных преобразований, позволяющая минимизировать влияние выявленных осложняющих факторов. Проблемы, связанные с возникновением интерференции волн на тонких пластах, предлагается решить посредством использования блоковой априорной модели упругих свойств. Это позволяет снизить неопределённость в местоположении коэффициента отражения (напрямую связанного с положением границы пласта) и сосредоточить усилия на подборе магнитуды этого коэффициента (связанного со свойствами пласта). Сложности, вызванные влиянием вмещающих пород на отражения от целевого интервала, предлагается решать дополнительной обработкой сейсмических материалов с целью устранения растяжки сигнала на дальних суммах.

В разделе 4.2 описаны результаты применения специальной методики инверсионных преобразований на модельных данных. На основе полученных сведений сделаны выводы об эффективности специальной методики подготовки данных к инверсии и самого инверсионного преобразования.

В разделе 4.3 описаны результаты применения специальной методики на реальных сейсмических данных, полученных на Верхнечонском нефтегазоконденсатном месторождении. Приведены оценки корректности и достоверности выполненных акустической и синхронной инверсий. Сделаны выводы о пригодности полученных результатов для дальнейших работ по прогнозу фильтрационно-емкостных свойств целевых горизонтов В10 и В13.

В разделе 4.4 приведены методика и результаты выполнения акустической и синхронной стохастической инверсии. Осуществлена оценка точности восстановления упругих параметров. В конце главы дан сравнительный анализ результатов всех видов инверсий и сделаны выводы о пригодности каждой из них для решения поставленных задач прогноза ФЕС и литологии целевых терригенных пластов.

По результатам проделанной работы были сформулированы основные положения предлагаемой методики выполнения инверсионных преобразований для изучаемого месторождения:

- Перед применением методики, описанной ниже, необходимо выполнить анализ качества сейсмических данных и убедиться в их пригодности для выполнения инверсионных преобразований. При необходимости нужно привести сейсмические данные в кондиционный вид.

- Первым этапом разработанного методического подхода является задание стратиграфического каркаса. Для рассматриваемого района работ он должен содержать все контрастные границы, а именно: отражение M2 и отражение от кровли фундамента (ф), внутреннюю структуру целевого интервала – кровли пластов В10 и В13, а также глинистую переемычку между ними. При недостаточном количестве данных для внутреннего каркаса терригенных пластов следует ограничиться внешними контрастными границами. При этом упадет разрешающая способность решения, но сами значения упругих параметров среды, рассчитанные в ходе инверсии, будут соответствовать по уровню фактическим значениям. Одновременный подбор положений коэффициентов отражения и их магнитуд в ходе работы «классического» варианта алгоритма инверсии ModelBased не дает результатов, пригодных для выполнения дальнейших прогнозов. Задание положений коэффициентов отражения через блоковую априорную модель упрощает задачу до поиска только магнитуд коэффициентов отражения, что, в свою очередь, дает положительные результаты и открывает возможности для выполнения дальнейших прогнозов.

- На втором этапе необходимо оценить средние значения упругих параметров среды (скорости продольной и поперечной волн, плотность и их производные) для каждого пласта в стратиграфическом каркасе. Для этого необходимо рассчитать среднее арифметическое в соответствующих интервалах для показаний каротажей АКШ и ГГКп в пробуренных скважинах.
- На третьем этапе необходимо заполнить стратиграфический каркас рассчитанными ранее средними значениями упругих параметров среды, с дискретизацией, соответствующей сейсмическим данным (в текущем случае шаг по горизонтали 25 на 25 метров, по вертикали - 2 мс)
- На четвертом этапе, после подготовки данных, можно приступить непосредственно к самой инверсии. Необходимо выполнять инверсионные преобразования с использованием алгоритма, базирующегося на фоновой модели. Наилучшим из опробованных инструментов является алгоритм Model Based Hard Constraint с настройками, соответствующими качеству используемой сейсмической информации (подобрать импульсы, отход от модели, количество контрольных скважин и т.п.)
- На последнем, пятом этапе необходимо выполнить контроль качества инверсии на предмет соответствия восстановленных упругих параметров аналогичным параметрам в контрольных скважинах, оценить степень сходимости полученного решения с сейсмическими данными. При необходимости следует изменить параметры в соответствии с результатами процедуры контроля качества.

В главе 5 «Методика прогноза фильтрационно-емкостных свойств на основе кинематического и динамического анализов сейсмических данных» представлена методика прогноза ФЕС на основе комплексирования сейсмических и скважинных данных, призванная выделить и оценить параметры основных элементов строения пластов В10 и В13.

В разделе 5.1 приведен обзор использованных методов кинематического анализа сейсмических данных, который включает в себя анализ времен прихода волны, отраженной от целевых горизонтов, и их производных. На основе карт

микрорельефа и спектральной декомпозиции сейсмической записи в режиме RGB выделены зоны линейной глинизации пласта В10. На основе карт времен выделены структурные выступы фундамента, секущие как пласт В13, так и пласт В10. Для пласта В13 описана методика построения карт ФЕС на основе карты трендовой составляющей общей толщины пласта. Для вмещающих пород описаны методики выделения зон кольцевых аномалий в фундаменте, выступов, магматических интрузий.

В разделе 5.2 описаны результаты динамического анализа сейсмической записи. Комбинирование различных параметров сейсмических волн, таких как амплитуда, частота, градиент и R0 позволяет построить карты линейной емкости, эффективных толщин и пористости для зон малых и больших толщин терригенных пластов (меньше и больше 30 метров соответственно).

В главе 6 «Результаты прогноза ФЕС пластов В10, В13 месторождения» описана методика построения прогнозных карт ФЕС и кубов литологии. На основе регрессионного анализа связей между параметрами ФЕС и атрибутами сейсмической записи, в том числе акустического импеданса, были получены следующие прогнозные карты:

- Карта линейной емкости пласта В10;
- Карта пористости пласта В10;
- Карта эффективной мощности пласта В10;
- Карта линейной емкости пласта В13;
- Карта пористости пласта В13;
- Карта эффективной мощности пласта В13.

На основе вероятностного прогноза литологии с использованием результатов акустической и синхронной инверсии были получены следующие результаты:

- Карта мощности литотипа «засолоненный неколлектор» и вероятностная оценка достоверности этого прогноза;

- Карта мощности литотипа «глинистый неколлектор» и вероятностная оценка достоверности этого прогноза;
- Карта мощности литотипа «коллектор» и вероятностная оценка достоверности этого прогноза;
- Трёхмерный куб наиболее вероятной литологии (3 литотипа: «засолоненный неколлектор», «глинистый неколлектор», «коллектор»).

Конечным результатом всей проделанной работы по интеграции керновой, скважинной, сейсмической и другой геолого-геофизической информации стали сейсмогеологические модели залежей в целевых пластах V_{10} и V_{13} . Существенными элементами для разработки которых являются:

- Пласт V_{13} – граница эрозионного срезания пласта, локальные эрозионные выступы фундамента, зоны ухудшенных ФЕС в северо-западной и юго-западной части месторождения, зоны улучшенных ФЕС в центральной и южной частях месторождения
- Пласт V_{10} – шнурковые глинистые тела, рассекающие пласт на изолированные резервуары, зоны ухудшенных ФЕС в северной и юго-западной части месторождения, зоны улучшенных ФЕС в центральной и западной частях месторождения.

Заключение

Основным результатом диссертационного исследования является разработанная методика выполнения инверсионных преобразований сейсмических данных в акустически аномальном слое, адаптированная для условий Непско-Ботуобинской антеклизы Сибирской платформы.

На основе комплексного анализа геолого-геофизической информации было показано, что терригенные пласты Непско-Ботуобинской антеклизы имеют высокую предсказуемость структурного плана и высокую контрастность по отношению к вмещающим породам. Для таких условий автором предложено использовать трендовые блоковые модели упругих свойств с целью осуществления расчёта всех видов инверсий. Подобный подход позволяет компенсировать нехватку контрастности решения на границах пород с резко

отличающимся импедансом и максимально приблизить решение инверсии к фактическим данным.

На основе петрофизического анализа, а также решения прямой и обратной задач сейсморазведки на модельных данных автор показал принципиальную возможность прогнозирования как литологического состава целевых пластов, так и их фильтрационно-емкостных характеристик. Причем данное утверждение справедливо как для детерминистических, так и для стохастических алгоритмов инверсионных преобразований сейсмических данных в трехмерном пространстве.

В ходе исследования установлено негативное влияние неоднородностей вмещающих пород на отражения от тонкого целевого интервала. Для борьбы с этими искажениями предложена и опробована методика специальной обработки сейсмических данных, направленная на повышение частоты сейсмической записи во всем диапазоне удалений и/или углов падения волны. Приведение АЧХ сейсмических данных на дальних удалениях к характеристикам данных при нулевом угле падения позволяет увеличить точность синхронной инверсии до 80% (по модельным данным).

Все предложенные методики были апробированы при комплексной интерпретации геолого-геофизической информации на Верхнечонском месторождении. В результате этой работы были получены двухмерные и трехмерные прогнозы распространения зон коллекторов, зон глинизации и зон засоления, достоверность которых подтверждена последующим разведочным и эксплуатационным бурением.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 12 научных публикациях по теме исследования, из них 4 работы напечатаны в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

а) Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Шаповалов М.Ю. Особенности инверсионных преобразований сейсмических данных в условиях сибирской платформы (на примере

Верхнечонского месторождения) / М.Ю. Шаповалов // Технологии сейсморазведки. Новосибирск: ГЕО. - 2013 - №3 - С. 21-27.

2. Шаповалов М.Ю., Иванюк В.В., Лебедев М.В. Опыт интерпретации сейсмических данных Верхнечонского месторождения как основа постоянно действующей модели / М.Ю. Шаповалов, В.В. Иванюк, М.В. Лебедев. // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». М.: - 2015 - №3 - С. 14-19.

3. Шаповалов М.Ю. Особенности обработки сейсмических данных для прогноза свойств тонких пластов на примере Верхнечонского месторождения / М.Ю. Шаповалов // Технологии сейсморазведки. Новосибирск: ГЕО. - 2016 - №1 - С.100-108.

4. Шаповалов М.Ю. Зона засоления как причина образования различных газонефтяных контактов / М.Ю. Шаповалов // Нефтепромысловое дело. М.: ВНИИОЭНГ. - 2016. - №4 - С.28-33.

б) Публикации в других изданиях

5. Шаповалов М.Ю. Методика выполнения инверсионных преобразований данных 3D сейсморазведки в акустически аномальных пластах / М.Ю. Шаповалов, Г.А. Хохлов, В.С. Потысьев. // Сборник тезисов к 13-ой конференции «Геомодель-2011». Геленджик. - 2011. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=53901>, DOI 10.3997/2214-4609.20144545.

6. Шаповалов М.Ю., Хохлов Г.А., Иванюк В.В., Лебедев М.В., Мельников Р.С. Опыт применения 3D при разработке Верхнечонского месторождения // Материалы II международного форума "Нефть и газ Восточной Сибири". Москва: Smarta Conferences. -2011. <http://www.ogesforum.ru/pages/publ.php?id=142945>.

7. Шаповалов М.Ю. Результаты прогноза фильтрационно-емкостных свойств продуктивного горизонта ВЧ Верхнечонского месторождения по данным фациального анализа и инверсии сейсмических данных 3D / М.Ю. Шаповалов, Я.И. Гордеев, Г.А. Хохлов, М.В. Лебедев, К.В. Зверев, В.В. Иванюк, В.С. Потысьев // Новатор, М.: 2011- №43 - С. 34-38.

8. Шаповалов М.Ю. Методика выполнения инверсионных преобразований данных 3D сейсморазведки в акустически аномальных пластах: итеративный

подход / М.Ю. Шаповалов, Г.А. Хохлов // Сборник тезисов к 14-ой конференции «Геомодель-2012». Геленджик. - 2012. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23960950>.

9. Шаповалов М.Ю., Создание геологической модели пласта ВЧ Верхнечонского месторождения на основе стохастической инверсии / М.Ю. Шаповалов, М.В. Осипова // 6-я международная геолого-геофизическая конференция-выставка "Санкт-Петербург 2014. Геонауки - инвестиции в будущее". Санкт-Петербург: EAGE. -2014. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=74174>, DOI: 10.3997/2214-4609.20140164.

10. Шаповалов М.Ю. Особенности инверсионных преобразований сейсмических данных в условиях Сибирской платформы / М.Ю. Шаповалов // Сборник научных трудов. Тюменский Нефтяной Научный Центр, Тюмень: - 2015, - С. 22-32.

11. Шаповалов М.Ю. Методика и результаты сейсмической инверсии в акустически-контрастном слое на примере месторождений Восточной Сибири / М.Ю. Шаповалов // Современные технологии нефтегазовой геофизики. Тюмень: ТИУ. -2016. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26755995>.

12. Шаповалов М.Ю. Уточнение геологической модели по результатам стохастической инверсии на Среднеботуобинском месторождении / М.Ю. Шаповалов, М.В. Осипова. // Сборник тезисов 4-й международной научно-практической конференции «ГеоБайкал 2016». <https://elibrary.ru/item.asp?id=27578147>, DOI: 10.3997/2214-4609.201601708.