

На правах рукописи



ЦЕПЛЯЕВА АННА ИВАНОВНА

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В КОЛЛЕКТОРАХ ПАЛЕЗОЙСКОГО  
ФУНДАМЕНТА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ  
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ПРОМЫСЛОВЫХ ДАННЫХ  
(НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРАСНОЛЕНИНСКОГО СВОДА)**

Специальность 25.00.12 – Геология, поиски и разведка  
нефтяных и газовых месторождений

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

**Научный руководитель:** **Бембель Сергей Робертович**  
доктор геолого-минералогических наук,  
начальник отдела подсчета запасов  
месторождений Восточной Сибири  
ТО «СургутНИПИнефть», г. Тюмень

**Официальные оппоненты:** **Запывалов Николай Петрович**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, главный научный сотрудник  
Института нефтегазовой геологии и геофизики  
СО РАН, г. Новосибирск

**Бочкарев Владимир Савельевич**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
заслуженный геолог РФ,  
заведующий сектором тектоники и  
геодинамики НАО «СибНАЦ», г. Тюмень

**Ведущая организация:** ООО «Газпром геологоразведка», г. Тюмень

Защита диссертации состоится 11 декабря 2018 г. в 14:00 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 в библиотечно-информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72 и на сайте ТИУ [www.tyuiu.ru](http://www.tyuiu.ru)

Отзывы, заверенные печатью учреждения, в двух экземплярах просим направлять по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.273.05, Семеновой Татьяне Владимировне  
Факс: 8(3452) 39-03-46, e-mail: [semenovatv@tyuiu.ru](mailto:semenovatv@tyuiu.ru)

Автореферат разослан 27 октября 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Т.В. Семенова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы и степень ее разработанности.** В настоящее время в связи с выработкой запасов большинства месторождений нефти и газа Западной Сибири, залежи которых в основном относятся к нижнемеловому и юрскому интервалу разреза, наибольший научный и практический интерес с точки зрения поисково-разведочных работ представляют интервалы фундамента. Однако в связи с недостаточной изученностью огромных территорий, ограниченностью фактического материала (исследований керна, обоснования петрофизических зависимостей, свойств пластовых флюидов), отсутствием надежных методик прогноза фильтрационно-емкостных свойств и способов построения геологических моделей сложнопостроенных объектов фундамента, как основы эффективного освоения и разработки связанных с ними залежей, остается множество вопросов и нерешенных научно-практических задач.

В этом направлении работали и продолжают исследования многие ученые: В.С. Бочкарев, В.И. Воронов, А.Н. Дмитриевский, Н.П. Запивалов, М.Ю. Зубков, К.С. Иванов, К.А. Клещев, А.Э. Конторович, В.Г. Криночкин, В.С. Сурков, С.В. Шадрин, В.Л. Шустер и другие известные геологи и геофизики. Сложное строение нижнего структурного этажа Западно-Сибирской платформы, включающего породы фундамента, коры выветривания и базальных горизонтов осадочного чехла, подчеркивается широким разнообразием петрографического и литологического состава продуктивных интервалов, среди которых присутствуют нижнекембрийские карбонатные отложения, гранитоиды и толщи триасового вулканогенного комплекса, а также древние метаморфические породы позднепротерозойского-раннепалеозойского возраста.

Палеозойский фундамент Красноленинского свода представляет собой объект со сложным геологическим строением, требующий нестандартного подхода при трехмерном геологическом моделировании. Поиск современных методов его исследования, их комплексирование при создании геолого-гидродинамических моделей является актуальной научно-технической проблемой.

**Цель работы** – разработать и обосновать способ повышения достоверности геологической модели залежей в трещиноватых коллекторах палеозойского фундамента (на примере одного из месторождений Красноленинского свода) на базе комплексирования результатов интерпретации 3D-сейсморазведки, геолого-

геофизических и промысловых данных, петрофизических материалов; создать достоверную основу для повышения точности оценки запасов и поисков перспективных нефтегазоносных участков на территории Красноленинского свода.

#### **Основные задачи исследования:**

1. Выполнить комплексный анализ геолого-геофизического материала, промысловой информации и их интерпретацию на основе данных бурения и сейсморазведочных работ.

2. Разработать методические приемы выделения и картирования нефтеперспективных зон в верхней части палеозойского фундамента на основе комплексирования данных 3D-сейсморазведки (динамические атрибуты), интерпретации материалов геофизических исследований скважин (ГИС), обобщения результатов исследования керна, испытаний скважин и геолого-промысловых данных.

3. Выявить особенности развития интервалов трещиноватости и выполнить прогноз перспективных участков в палеозойском фундаменте.

4. Создать трехмерную геологическую модель нефтяных залежей палеозойского объекта, связанных с порово-трещинными интервалами в верхней части фундамента.

#### **Научная новизна исследования:**

1. Впервые установлена взаимосвязь нефтегазоперспективных зон в верхней части палеозойского фундамента с сейсмическими атрибутами, рассчитанными во временном окне 0-70 мс ниже отражающего горизонта «А» (кровля доюрского основания): акустическим импедансом, среднеквадратичными амплитудами, аналогами когерентности (атрибутами «Chaos», «Variance» и «Ant Tracking»).

2. Выявлена приуроченность коллекторов трещинного и трещинно-порового типа к зонам разрывных нарушений, выделенных с помощью сейсмических атрибутов структурного типа (когерентность), и данным акустической инверсии.

3. Впервые по результатам анализа керна и данных ГИС выполнена типизация коллекторов палеозойского фундамента по преимущественному типу пустотного пространства (поровый, порово-трещинный, трещинный) изучаемого месторождения.

4. Разработана методика построения трехмерной геологической модели залежей палеозойского фундамента, в которой пустотное пространство

сложнопостроенного коллектора представлено «двойной средой», состоящей из низкопроницаемой матрицы и систем высокопроницаемых трещин.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в разработке методики построения трехмерной геологической модели залежей палеозойского фундамента, и в повышении достоверности результатов исследований на основе комплексирования данных 3D-сейсморазведки, петрофизических алгоритмов выделения интервалов порового и порово-трещинного типа коллектора, информации по опробованию и динамике работы скважин. Уточнено геологическое строение палеозойского фундамента изучаемого района, приняты рекомендации по заложению поисково-разведочных скважин.

**Методология и методы исследования.** Теоретические методы исследования включают в себя анализ отечественных и зарубежных источников по геологическому строению пород фундамента и обобщение подходов и приемов геолого-гидродинамического моделирования залежей, связанных с трещиноватыми коллекторами. К экспериментальным исследованиям относится построение трехмерной геологической модели залежей палеозойского фундамента (объект «PZ») по результатам обобщения и комплексирования теоретических и специальных исследований, послуживших основой для гидродинамических расчетов, прогноза показателей работы эксплуатационных скважин и подбора геолого-технических мероприятий (ГТМ). В работе использован программный комплекс «Petrel» (Schlumberger).

**Защищаемые положения:**

1. Установленная связь между участками развития трещиноватых пород в верхней части палеозойского фундамента с сейсмическими атрибутами и дебитами флюидов в скважинах повышает достоверность прогноза нефтеперспективных зон.

2. Геологические модели залежей палеозойского фундамента, учитывающие низкопроницаемую матрицу и системы высокопроницаемых трещин в коллекторах с различными типами метаморфических пород, являются основой прогноза продуктивности скважин.

**Личный вклад автора:** автором был собран и проанализирован фактический материал по 42 скважинам, включая дела скважин; данные геолого-технологических исследований; проанализированы первичные данные и

результаты интерпретации геофизических исследований скважин (РИГИС); результаты проведения промыслово-геофизических исследований; фактические данные разработки и результаты проведения гидродинамических исследований скважин; проведен анализ эффективности применения гидравлического разрыва пласта (ГРП). Просмотрено 448 м кернового материала; изучено макро- и микроописание представленных пород. Проанализированы данные 3D-сейсморазведки в объеме 473 км<sup>2</sup>, проведена структурная интерпретация и динамический анализ сейсмических атрибутов. Построена трехмерная геологическая модель залежей палеозойского фундамента. Выполнено сопровождение постоянно действующей геолого-гидродинамической модели, выданы рекомендации по проведению ГТМ и доразведке залежей палеозойского фундамента.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов исследований подтверждается фактическими скважинными данными (14 разведочных скважин, 24 эксплуатационных скважины). Эффективность предложенной методики моделирования успешно подтверждена геолого-промысловыми данными и результатами эксплуатационного бурения. Материалы исследования используются на месторождении при проектировании разработки, проведении ГТМ по дострелу выделенных автором продуктивных интервалов.

Результаты проведенных исследований и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 18 научно-практических и научно-технических конференциях, форумах, симпозиумах различного уровня: V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 2017 г.); 7 Международной научно-практической конференции «ГЕОСОЧИ–2017. Нефтегазовая геология и геофизика» (Сочи, 2017 г.); Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Новые технологии – нефтегазовому региону» (Тюмень, 2015 г., 2017 г.); Международной конференции «VIII International Siberian Early Career GeoScientists Conference» (Новосибирск, 2016 г.); Международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2015 г., 2016 г.); Международной научно-технической конференции «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского

мегабассейна (опыт, инновации)» (Тюмень, 2014 г., 2016 г.); Международной конференции «Multidisciplinary approach to solving problems of geology and geophysics» (Баку, Азербайджан, 2015 г.); Международной научно-технической конференции «НЕФТЬ И ГАЗ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ» (Тюмень, 2015 г.); V Международной научно-практической конференции «Геокрым–2015. Проблемы нефтегазовой геологии и геофизики» (Алушта, Крым, 2015 г.); Всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии – 2015» (Иркутск, 2015 г.); VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов) (Новосибирск, 2014 г.); «6 EAGE Conference and Exhibition Saint Petersburg 2014. Geoscience – Investing in the Future» (Санкт-Петербург, 2014 г.); конкурсе молодежных инновационных проектов в рамках международного форума «НЕФТЬГАЗТЭК» (Тюмень, 2014 г.); V Международной конференции «Fundamental and applied geological science: achievements, prospects, problems and ways of their solutions» (Баку, Азербайджан, 2013 г.); Международном студенческом нефтяном конгрессе «East meets West» (Краков, Польша, 2013 г.).

**Публикации.** По теме диссертации автором опубликовано 20 работ, из которых 5 научных статей – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, в том числе три работы в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные базы данных (Web of Science, Scopus).

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 142 страницах, включая 78 рисунков, 5 таблиц. Список литературы включает 150 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** сформулированы актуальность темы диссертационной работы, изложены цели и задачи исследований, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** приведен обзор месторождений, открытых в породах фундамента в различных регионах России и мира, рассмотрены особенности геологического строения и нефтегазоносности пород доюрского комплекса Западной Сибири, в частности Красноленинского свода. В образованиях

доюрского комплекса Западной Сибири, включающего палеозойский фундамент и отложения триаса, в трещиновато-кавернозных породах на контакте с чехлом выявлено более 50 месторождений углеводородов и множество нефтепроявлений. Вещественный состав верхней дезинтегрированной поверхности фундамента, содержащей нефтяные залежи, разнообразный: метаморфические сланцы протерозойско-палеозойского возраста, гранитные интрузии палеозоя, карбонатно-песчано-глинистые и карбонатно-рифогенные ассоциации отложений девона – нижнего карбона, терригенно-сланцевые отложения нижнего и среднего палеозоя, кислые эффузивы триасового и пермо-триасового возраста.

В рамках настоящей диссертационной работы рассматривается южная часть Рогожниковско-Ляминской площади, на территории которой триасовый комплекс отсутствует. Геологический разрез доюрского основания представлен протерозой-палеозойским комплексом, сложенным метаморфическими породами.

**Во второй главе** изложена геолого-геофизическая характеристика района исследования, рассмотрены особенности геологического строения продуктивных горизонтов и их нефтегазоносность.

Предметом исследования является участок на одной из площадей Красноленинского свода Западной Сибири, на котором открыты залежи нефти, связанные с образованиями палеозоя и коры выветривания, ниже- и среднеюрскими отложениями, а также пластами викуловской свиты нижнего мела. Этаж нефтегазоносности в пределах открытых залежей нефти превышает 1000 м. Многочисленные разрывные нарушения, осложняющие залежи нефти, уверенно выделяются по материалам 3D-сейсморазведки. Наличие системы трещиноватости и ее связь с многочисленными прослеженными разрывными нарушениями предопределило неоднородность распределения продуктивности скважин объекта «PZ» по площади месторождения.

**В третьей главе** приведены результаты комплексного анализа данных 3D-сейсморазведки, геофизических исследований скважин и исследований керна.

Объект исследования характеризуется высокой неоднородностью литологического состава и петрофизических свойств по площади и разрезу, сложен породами динамотермального метаморфизма средних температур, средних и высоких давлений. Горные породы представлены кристаллическими сланцами: двуслюдяными, амфиболовыми, биотит-амфиболовыми, пироксен-амфиболовыми, кварц-полевошпатовыми, а также амфиболитами и гнейсами



двуслюдяного и кварц-полевошпатового составов, сменяющимися по разрезу друг друга в разном порядке. В ряде скважин вскрыты серпентиниты, которые на глубине сменяются кристаллическими сланцами. В кровле метаморфических пород развита кора выветривания, полнота ее разреза на разных участках отличается. В одних скважинах наблюдаются 20-25-метровые интервалы, сложенные каолинитовым структурным элювием, переходящим в дезинтегрированные слабоизмененные метаморфические породы, сменяющиеся неизменными породами. В других скважинах породы осадочного чехла залегают на брекчированных метаморфитах.

По результатам описания керна отмечается широко распространенная микро- и макротрещиноватость, присутствуют многочисленные зеркала скольжения и зоны дробления. Горные породы разбиты сетью трещин, наблюдается несколько систем, порой со смещением: параллельно, перпендикулярно сланцеватости и ветвящиеся, извилистые трещины. Предполагается неоднократная активизация тектонических процессов, имевших преимущественно сбросовый, сдвиговый и смешанный характер.

Анализ фильтрационно-емкостных свойств и характера насыщения показывает отсутствие зависимости пористость-проницаемость-нефтенасыщение, что свидетельствует о существенном влиянии на проницаемость трещинной составляющей. Для определения параметров порово-трещиноватой среды метаморфических пород объекта «PZ» исследуемого месторождения был привлечен алгоритм, опубликованный В.А. Ефимовым (2015). На основе алгоритма была проведена интерпретация данных ГИС по 14 поисково-разведочным и 24 эксплуатационным скважинам объекта «PZ». Выделенные проницаемые интервалы были сгруппированы в три основных типа, отражающих строение и геометрию пустотного пространства – поровый, трещинный и порово-трещинный.

Полученные данные в виде таблиц результатов интерпретации ГИС использовались в качестве исходных данных для построения трехмерной геологической модели изучаемого месторождения. На рисунке 1 приведено соотношение между коллекторами с различным типом пустотного пространства в скважинах северной залежи объекта «PZ».

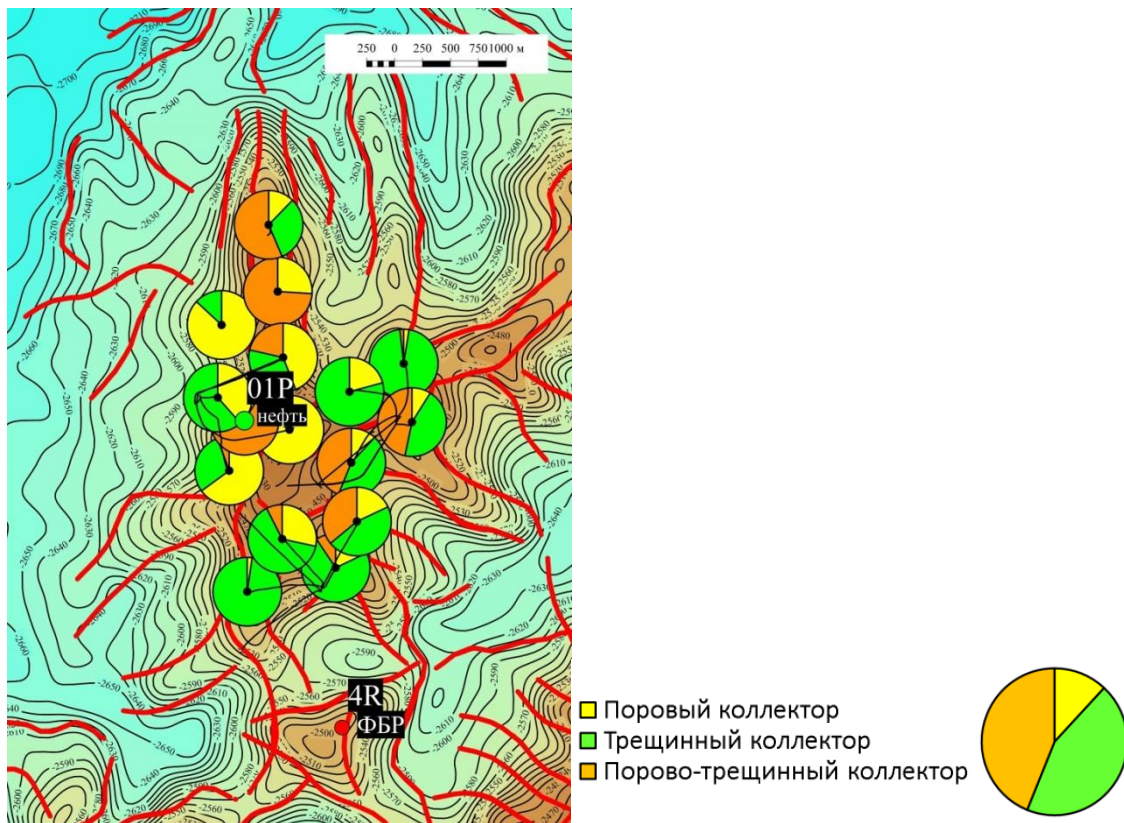


Рисунок 1 – Соотношение между коллекторами с различным типом пустотного пространства в скважинах северной залежи объекта «PZ»

В результате комплексного анализа материалов 3D-сейсморазведки, данных опробования и динамики показателей работы скважин выделены участки улучшенных коллекторов, приуроченные к выступам фундамента, характеризующиеся в волновом поле максимальными значениями падения амплитуд сейсмического сигнала (рисунок 2). Участки предполагаемой повышенной трещиноватости и связанные с ними залежи нефти выделены зеленым цветом. Для вычленения зон трещиноватости вдоль отражающего горизонта (ОГ) «А» (кровля доюрского комплекса) и в различных временных интервалах от ОГ «А» использовался набор структурных (геометрических) сейсмических атрибутов – «Variance», «Chaos», «Ant Tracking», «Local Structural Dip», «Local Structural Azimuth», а также амплитудная (объемная) кривизна («3D-Curvature») и ряд ее разновидностей – максимальная отрицательная кривизна («Most negative curvature»), максимальная положительная кривизна («Most positive curvature») и кривизна Гаусса («Gaussian curvature»). На основании карт средних значений и интервальных срезов атрибута «Ant Tracking» была получена общая картина развития мелких тектонических нарушений и предполагаемая ориентация сопряженных систем трещин в районе рассматриваемых залежей.

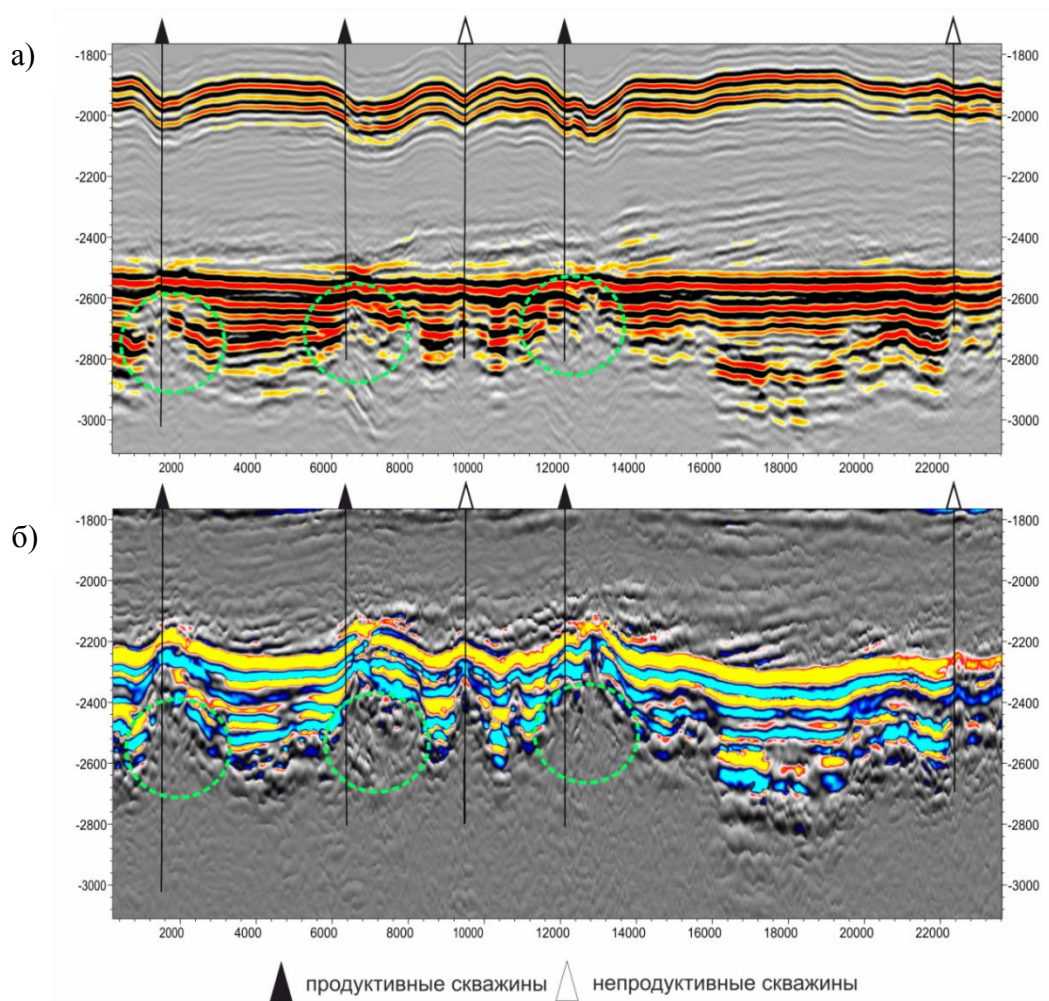


Рисунок 2 – Фрагмент временного разреза с выравниванием на ОГ «Б» (а) и фрагмент разреза атрибута «первая производная огибающей сейсмической волны» (б) в районе выявленных залежей нефти

Участки скважин, в которых по результатам испытаний были получены промышленные притоки углеводородов (УВ), расположены в области пересечения и неоднократной активизации нескольких разломных систем (рисунок 3а). Высокие значения нормализованной Гауссовской кривизны, приведенные на рисунке 3б, выражают интегральный изгиб поверхности локальных выступов фундамента и характеризуют потенциальные зоны воздействия напряжений, которые также могут ассоциироваться с участками максимальной трещиноватости. При сопоставлении положения продуктивных скважин и аномалий атрибута «RMS» (среднеквадратичные амплитуды), характеризующего общую интенсивность отражения и среднюю энергию сейсмических волн (рисунок 3в), отмечается приуроченность перспективных участков к локальным поднятиям поверхности фундамента, характеризующимся снижением амплитуд.



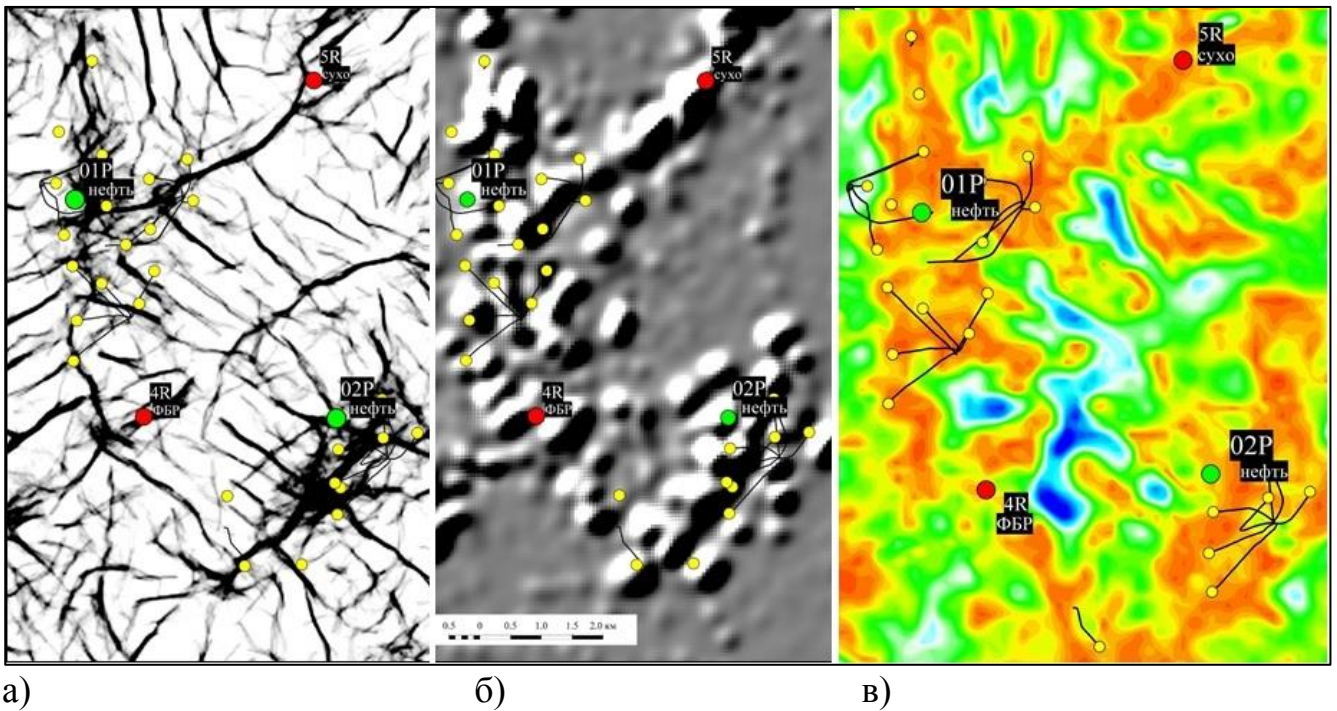


Рисунок 3 – Карты средних значений сейсмических атрибутов «Ant Tracking» (а), «Gaussian curvature» (б) и «RMS» (в) в интервале рассматриваемых залежей

На рисунке 4 приведено сопоставление объемной и минералогической плотности пород палеозойского комплекса по результатам исследования керна. Породы, являющиеся коллекторами УВ, обладают пониженной плотностью и группируются в левой части кросс-плота, что позволяет выделять предполагаемые участки развития коллекторов с помощью сейсмической инверсии. В процессе работы была установлена зависимость между результатами испытания скважин и их положением относительно зон пониженной плотности на картах акустического импеданса (рисунок 5).

Проведенное сопоставление между промысловыми и сейсмическими данными показало, что совместное использование сейсмических атрибутов «RMS» и «Ant Tracking» позволяет выделять перспективные участки в верхней части палеозойского фундамента, связанные с повышенной трещиноватостью. Наиболее эффективным атрибутом при прогнозе коллекторских свойств пород палеозойского фундамента является акустический импеданс. Основываясь на фактических данных, собранных и проанализированных в рамках работы, были выданы рекомендации по доразведке залежей объекта «PZ». Результаты испытания поисково-разведочных скважин подтверждают актуальность использования описанной методики прогноза коллекторов в разрезе палеозойского комплекса.

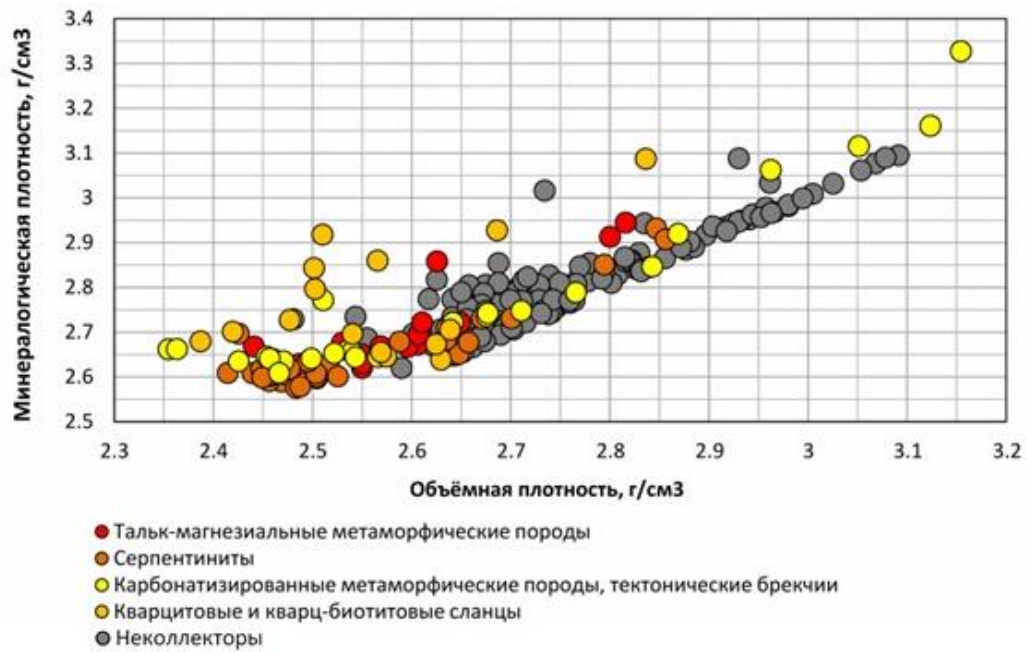


Рисунок 4 – Сопоставление объёмной и минералогической плотности пород палеозойского фундамента

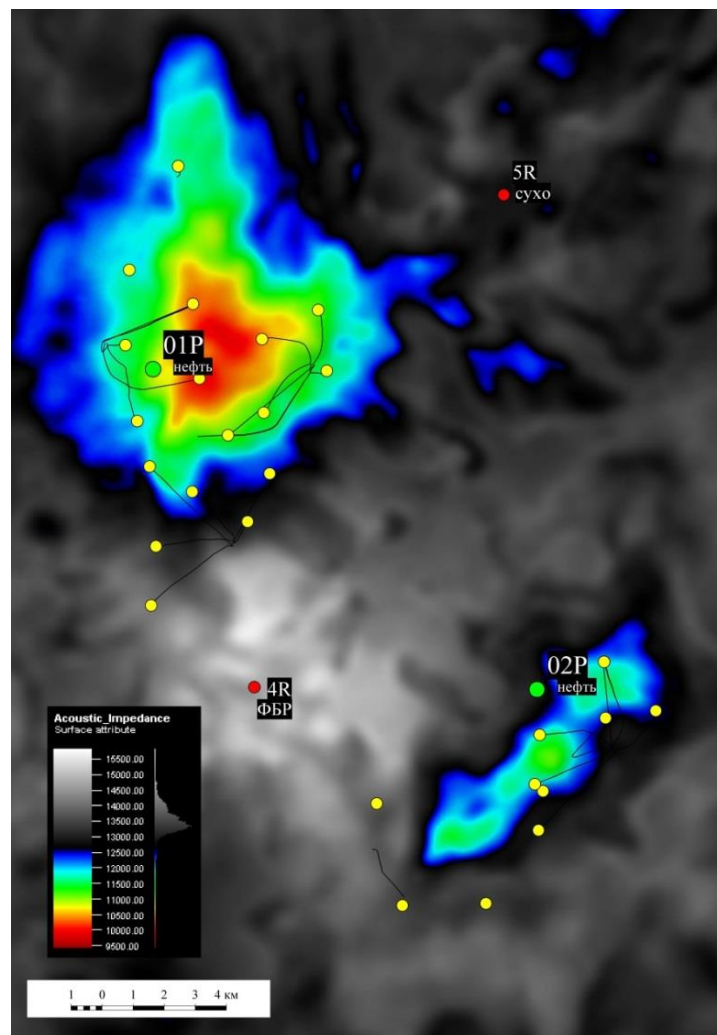


Рисунок 5 – Карта средних значений акустического импеданса во временном окне (0-70 мс) ниже ОГ «А»

В четвертой главе описывается методика моделирования палеозойского фундамента и использование ее результатов при геолого-технических мероприятиях. Приоритет при построении модели отдается скважинным данным с использованием дополнительных трендовых параметров, полученных на основе сейсмических данных. В качестве основного тренда при построении литологической модели палеозойского фундамента используется куб акустического импеданса. Основные тектонические нарушения, выделенные на этапе обработки сейсмических данных, были преобразованы в полигоны разломов и включены в геологическую модель в виде дискретного параметра (рисунок 6а). Был получен непрерывный куб, характеризующий расстояние до разломов (рисунок 6б), который в дальнейшем использовался как трендовый параметр, являющийся индикатором плотности трещин в пределах 3D-сетки геологической модели.

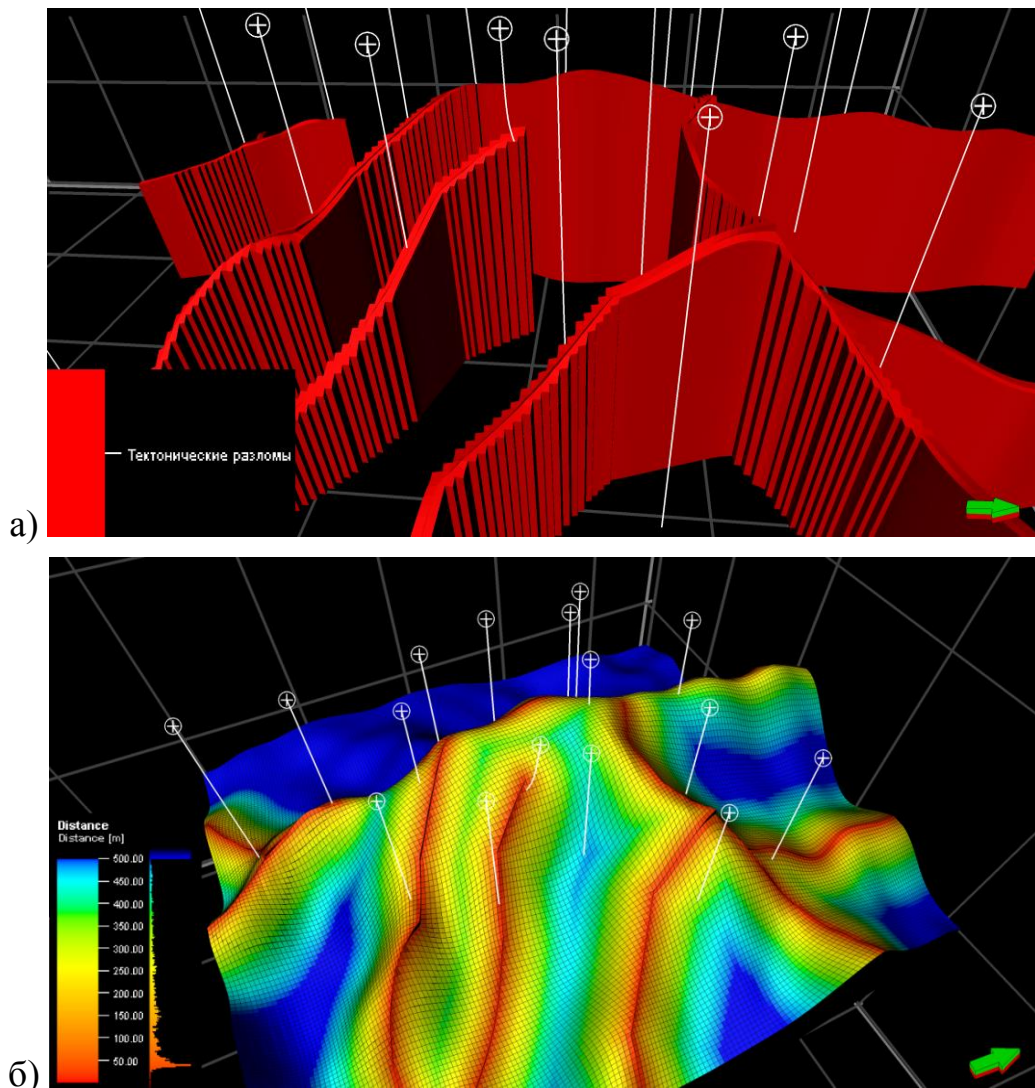


Рисунок 6 – Тектонические разломы в виде дискретного параметра (а) и трендовый куб расстояния до разломов (б)



На первом этапе производится подготовка исходных сейсмических данных для моделирования. Предварительно рассчитанные кубы атрибутов «Ant Tracking» и акустического импеданса переводятся в глубинный масштаб и ремасштабируются на 3D-сетку геологической модели (рисунок 7). Далее рассчитывается набор геометрических трендов: расстояние до скважин, участвующих в построении модели; абсолютная глубина ячеек сетки; расстояние до тектонических разломов. Рассчитанные тренды нормализуются, итоговые параметры принимают значения от «0» до «1». Затем куб акустического импеданса преобразуется в тренд для моделирования коллектора.

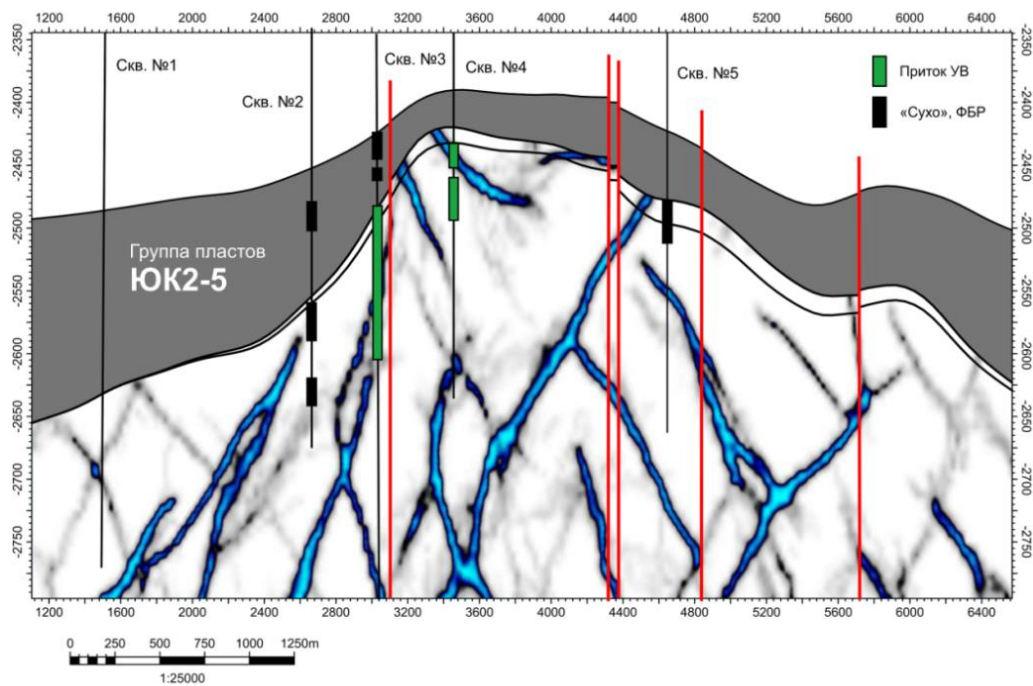


Рисунок 7 – Разрез по кубу сейсмического атрибута «Ant Tracking», осредненному на сетку геологической модели

Таким образом, в исходном кубе высокие значения соответствуют породам с высокой плотностью, а в модифицированном кубе – породам с низкой плотностью, которые обладают повышенными коллекторскими свойствами (пористостью). Модифицированный куб импеданса был умножен на тренд относительной (нормализованной) глубины и на куб расстояния до скважин. Итоговый трендовый куб характеризует наиболее вероятные зоны развития коллектора, но вместе с этим снижается вероятность его появления при увеличении глубины залегания и при удалении от эксплуатационных скважин, что на этапе моделирования литологии позволяет избежать необоснованного завышения эффективных толщин в краевых частях залежи, а также избежать распространения коллекторов на большую глубину.

При построении куба литологии рассчитывается 21 стохастическая реализация с трендом в виде модифицированного куба акустического импеданса. Полученные реализации осредняются в куб средних значений непрерывного типа, так называемый куб «NTG», принимающий значения от «0» до «1» и описывающий вероятность присутствия коллектора в каждой ячейке модели. Данный куб впоследствии сглаживается; по сглаженному кубу подбирается «отсечка» – фиксированное значение куба «NTG», выше которого ячейка принимает значение «коллектор»; проводится проверка на соответствие между итоговым кубом литологии и скважинными данными. Далее в пределах полученного куба были распространены 3 типа коллектора: поровый, трещинный и порово-трещинный. Для каждого типа коллектора задавались индивидуальные ранги и статистические параметры вариограмм.

По аналогии с общим кубом литологии рассчитывается 21 реализация куба типов коллекторов, которые впоследствии осредняются в непрерывные кубы вероятности фациальных типов («Facies probability») соответственно для порового, трещинного и порово-трещинного коллекторов. Далее с помощью калькулятора свойств рассчитывается итоговый куб литологии на основе фиксированной отсечки по каждому кубу вероятности. Разрез по общему итоговому кубу литологии (с учетом типов коллекторов) приведен на рисунке 8.

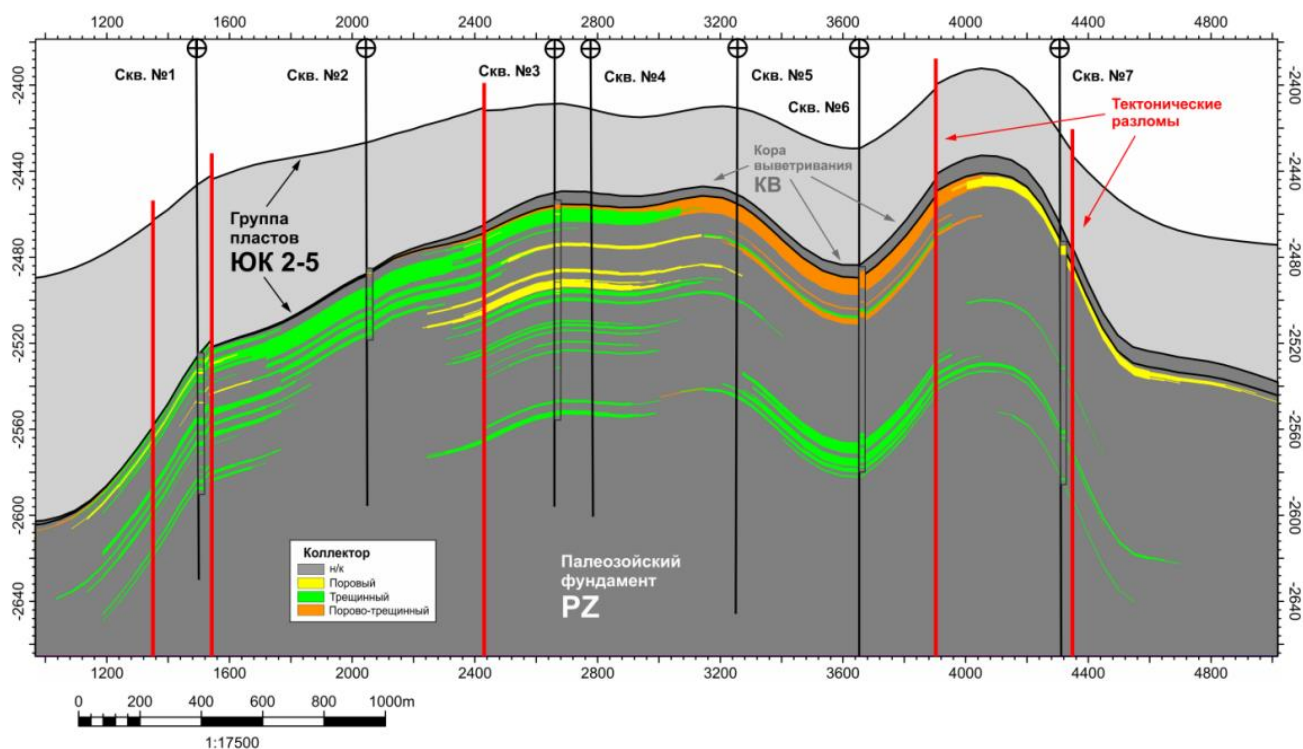


Рисунок 8 – Разрез по итоговому кубу литологии с учетом трех типов коллекторов



Этап петрофизического моделирования включает в себя построение непрерывных кубов пористости, проницаемости и нефтенасыщенности. В качестве исходных данных для построения модели фильтрационно-емкостных свойств были использованы кривые пористости матрицы, трещинной пористости и нефтенасыщенности матрицы, полученные в процессе послойной интерпретации данных ГИС в интервалах коллекторов.

Для распределения пористости и нефтенасыщенности в прослоях коллекторов применялся инструмент «Petrophysical modeling» (петрофизическое моделирование) и метод «SGS» («Sequential Gaussian Simulation» – последовательное гауссовское моделирование), учитывающий скважинные данные и вариограммы. Пористость матрицы была распространена во всех типах коллекторов (поровый, трещинный, порово-трещинный). Пористость трещин была распространена в трещинном и порово-трещинном коллекторе. Было рассчитано 15 реализаций кубов пористости матрицы и пористости трещин, итоговые параметры представляют собой кубы средних значений данных параметров (рисунок 9).

Куб проницаемости матрицы построен путем пересчета по зависимости, полученной по керну:  $K_{пр} = 0,0102 * e^{0,3275 * K_{п}}$ , где в качестве аргумента  $K_{п}$  используется построенный ранее куб пористости матрицы. В процессе анализа имеющихся геолого-геофизических данных было принято решение о моделировании трещиноватости в виде параметра, характеризующего интенсивность трещиноватости (плотность трещин) в пределах выделенных интервалов трещинного и трещинно-порового коллектора. Таким параметром в геологической модели является нормализованный куб расстояния до разломов. Для того чтобы получить прогнозный куб плотности трещин, куб расстояния до разломов был нормализован, после чего из него вычтена «1». Далее с помощью калькулятора параметров все значения, находящиеся в пределах неколлекторов и коллекторов порового типа, были приравнены к «0». Значения максимальной плотности трещин соответствует приразломным зонам и постепенно снижаются при движении к краевым частям залежи.

Куб проницаемости трещин построен согласно формуле Т.Д. Голф-Рахт для систем с хаотичным распределением трещин:  $K_{пр} = K_{п.тр.}^3 / 29,6 * A_{г.тр.}^2$ , где:

$K_{пр}$  – трещиноватая проницаемость;

$K_{п.тр.}$  – трещиноватая пористость;

$A_{г.тр.}$  – густота трещин.

В качестве аргументов в данном уравнении используются полученные ранее кубы соответствующих свойств.

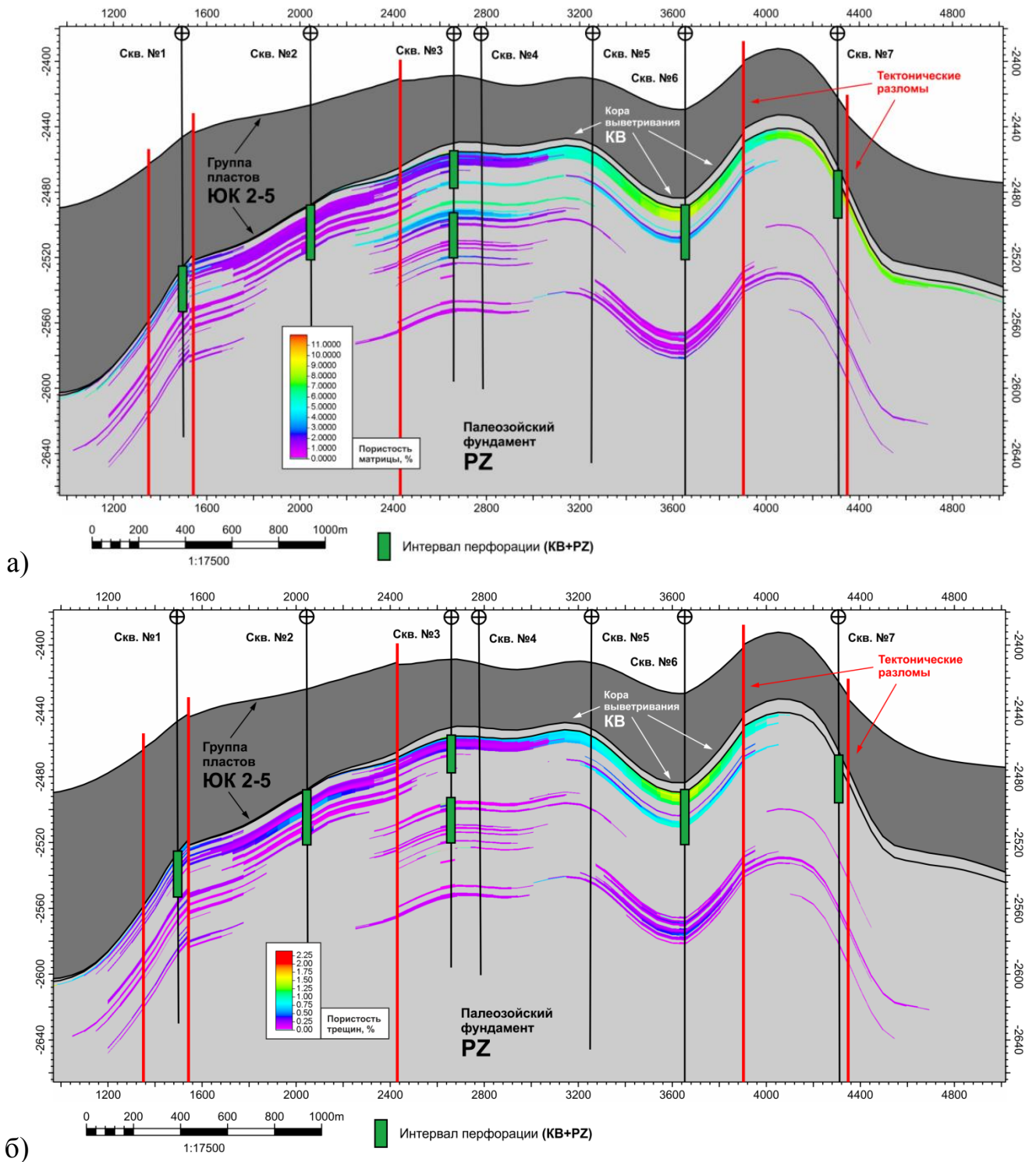


Рисунок 9 – Разрез по кубу пористости матрицы (а) и трещин (б)

На завершающем этапе по прослоям коллекторов были распространены коэффициенты нефтенасыщенности матрицы и трещин. Нефтенасыщенность трещин распространялась в порово-трещинном коллекторе и трещиноватых породах и условно принята равной граничному значению коэффициента

нефтенасыщенности пород фундамента. На рисунке 10 приведен разрез по общему кубу нефтенасыщенности коллекторов палеозойского фундамента, в котором учтена нефтенасыщенность каждой моделируемой среды (матрица и трещины).

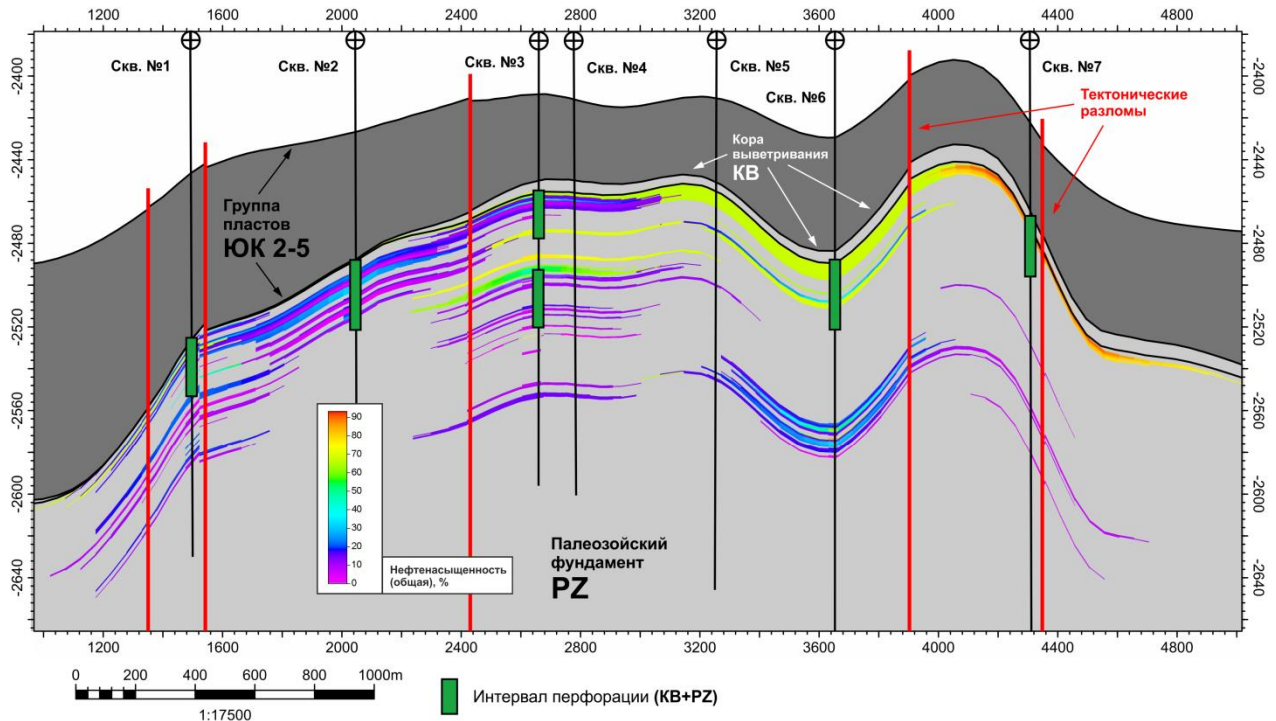


Рисунок 10 – Разрез по кубу нефтенасыщенности

Условный уровень подсчета запасов принят по подошве нижнего нефтенасыщенного пропластка, выделенного по РИГИС. Подсчет начальных геологических запасов нефти производился на основе куба общей пористости, включающего пористость трещин и пористость матрицы, куба нефтенасыщенности матрицы и куба нефтенасыщенности трещин.

При детальном анализе выделенных интервалов трещиноватости в разрезе нескольких скважин выделены участки для дополнительных операций по дострелу и проведению гидроразрыва пласта. Выполненные мероприятия подтвердили достоверность геологической модели и авторское представление о распределении перспективных интервалов в разрезе палеозойского фундамента. По результатам рекомендованных дострелов был уточнен условный уровень подсчета. По скважинам с проведенными дострелами отмечается значительное повышение эксплуатационных показателей (дебитов нефти). Результаты реализации авторских рекомендаций подтверждают их правомерность и перспективы дальнейшего использования созданной геолого-гидродинамической модели при разработке залежей объекта «PZ».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения максимальной эффективности геологоразведочных работ и дальнейшей разработки месторождений необходимо применение соответствующих методик прогноза коллекторских свойств, адаптированных под специфику объекта исследования и позволяющих учитывать весь комплекс исходных геолого-геофизических данных.

В процессе выполнения работы была проведена разработка подобной методики применительно к метаморфическим породам палеозойского фундамента, расположенным на территории одной из площадей Краснотенинского свода (Рогожниковско-Ляминской зоны). Итогом работы является решение нескольких важных научно-практических задач:

1. На основе комплексного анализа материалов бурения, опробования и динамики работы скважин, исследований и описания керна, петрофизических и 3D-сейсмических исследований выявлены особенности распространения продуктивных участков верхней части палеозойского фундамента, к которым приурочены разрабатываемые залежи нефти на одном из месторождений Краснотенинского свода.

2. По результатам анализа керна и данных ГИС выполнена типизация коллекторов палеозойского фундамента изучаемого месторождения по преимущественному типу пустотного пространства (поровый, порово-трещинный, трещинный), которая подтверждается опробованием поисково-разведочных и эксплуатационных скважин.

3. Предложен подход к выделению и картированию нефтеперспективных зон в верхней части палеозойского фундамента с использованием сейсмических атрибутов, рассчитанных во временном окне ниже отражающего горизонта «А» (кровля доюрского основания): акустическим импедансом, среднеквадратичными амплитудами, аналогами когерентности (атрибутами «Chaos», «Variance» и «Ant Tracking»).

4. Выявлена приуроченность коллекторов трещинного и трещинно-порового типа к зонам разрывных нарушений, выделенных с помощью сейсмических атрибутов структурного типа и данных акустической инверсии.

5. Уточнено геологическое строение палеозойского фундамента района исследования. Разработанные автором подходы к созданию и уточнению геологических моделей трещиноватых коллекторов палеозойского фундамента

начали успешно применяться на других месторождениях Красноленинского свода (Рогожниковско-Ляминской зоны).

Разработанная методика построения трехмерной геологической модели залежей палеозойского фундамента является достоверной основой для прогноза продуктивности эксплуатационных скважин и рекомендуется к использованию для объектов со схожим геологическим строением.

Полученные в ходе настоящего диссертационного исследования результаты используются на месторождении при проектировании разработки и проведении ГТМ. Приняты рекомендации по заложению поисково-разведочных и эксплуатационных скважин. Уточнено местоположение проектного эксплуатационного фонда скважин объекта «PZ» на соседней площади.

В дальнейшем перспективы развития выполненных исследований связаны с созданием надежной основы поисков, разведки и разработки участков продуктивности пород фундамента как в пределах Красноленинского свода, так и в целом по Западной Сибири.

**Работы, опубликованные автором в изданиях, входящих в перечень  
ВАК РФ и международные базы данных:**

1. Tseplyaeva A. I. Perspectives of oil and gas presence in pre-jurassic sediments on the example of one west siberian deposit, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 27 012019 (2015)doi:10.1088/1755-1315/27/1/012019 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012019>
2. Цепляева, А.И. Особенности картирования и перспективы нефтегазоносности доюрских отложений в западной части ХМАО–Югры / С.Р. Бембель, А.И. Цепляева // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №11. – С. 89–93.
3. Цепляева, А.И. Информативность геохимических показателей при поиске углеводородов в Западной Сибири / М.Д. Заватский, А.И. Цепляева // Естественные и технические науки. – 2016. – №10 (100). – С.70–73.
4. Цепляева, А.И. Разработка методики трехмерного геологического моделирования для коллекторов палеозойского фундамента Западной Сибири / А.И. Цепляева // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – №3. – С.36–40.
5. Цепляева, А.И. Уточнение геологической модели объекта PZ на основе анализа геолого–геофизической информации / А.П. Кондаков, С.Р. Бембель, А.И. Цепляева // Нефтяное хозяйство. – 2017. – №4. – С.26–30.

### Работы, опубликованные автором в других изданиях:

6. Tseplyaeva A. Analysis of reservoir rock with dual porosity / Kolesnik V., Tseplyaeva A. // ABSTRACTS East Meets West International Student Petroleum Congress & Career Expo. Krakow, Poland, 2013. –р.34.
7. Цепляева, А.И. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности на примере рогожниковско-ляминской группы месторождений западной части ХМАО-Югры / А.И. Цепляева // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (Опыт, инновации): Материалы Девятой Международной научно– технической конференции.– Т.2. Геология, геофизика. Гидрогеология, геотермия и геокриология. Экология, промышленная безопасность. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014.–С.106–108.
8. Цепляева, А.И. Геологические модели формирования локальных высокодебитных залежей ув на некоторых площадях западной сибери / А.И. Цепляева // Материалы VII Сибирской научно – практической конференция молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов): Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск РИЦ НГУ, 2014. С.357–358
9. Цепляева, А.И. Перспективы нефтегазоносности с учетом геологического строения на примере Рогожниковско-Ляминской группы месторождений ХМАО-Югры / А.И. Цепляева // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией. Том I; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 307–308
10. Tseplyaeva A.I. Some manifestation of active geodynamics the oil and gas fields of West Siberia // ABSTRACTS The 6th international scientific conference of young scientists and students.– Baku 2015.– р 68–69
11. Цепляева, А.И. Перспективы нефтегазоносности доюрских отложений на примере одного из месторождений Краснотенинского свода/ С.Р. Бембель, А.И. Цепляева // Геокрым–2015. Проблемы нефтегазовой геологии и геофизики: Материалы V международной научно–практич. конф. ЕАГО» 18.05–22.05.2015. ООО «Изд. Герс». 2015. С.283–285
12. Цепляева, А.И. Использование наземных геохимических полей в комплексе с результатами сейсморазведки как элемент поиска и картирования залежей нефти и газа / А.И. Цепляева // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3 (7). – С.70–72
13. Цепляева, А.И. К вопросу о моделировании трещиноватых коллекторов в Западной Сибири /А.И. Цепляева // Новые технологии –

нефтегазовому региону [Текст]: материалы Всероссийской с международным участием научно–практической конференции. Т. 1; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015.– С. 105–107

14. Цепляева, А.И. Поиск и картирование залежей нефти и газа в доюрском комплексе западной части ХМАО–Югры комплексом геофизических и геохимических методов / С.Р. Бембель, А.И. Цепляева // Нефть и газ Западной Сибири: материалы международной научно–технической конференции. Т.1.,– Тюмень: ТюмГНГУ, 2015.– С.45–48

15. Цепляева, А.И. Построение геологической модели объекта, сложенного метаморфическими породами (на примере одного из месторождений Красноленинского свода)/ А.И. Цепляева // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова – Том I; Томский политехнический университет. – Томск: Изд–во Томского политехнического университета, 2016. –С. 432–434

16. Цепляева, А.И. Обзор месторождений, открытых в породах фундамента /А.И. Цепляева // Геология и нефтегазоносность Западно–Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы Международной научно–технической конференции. Т.1.– Тюмень: ТИУ, 2016.– С.8–10.

17. Tseplyaeva A.I. 3D Geological modeling of the Paleozoic deposits: Krasnoleninsk arch case, The 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference: Novosibirsk .– 2016. – p. 332–333

18. Цепляева, А.И. Комплексный подход к вопросу геометризации залежей в доюрских образованиях, связанных с участками повышенной трещиноватости / С.Р. Бембель, А.И. Цепляева // Материалы Международной научно–практической конференции «Геосочи–2017. Нефтегазовая геология и геофизика» ООО Издательство полипресс, 2017 С. 211–216

19. Цепляева, А.И. Геологическое моделирование пород палеозойского фундамента на примере одного из месторождений Западной Сибири/ А.И.Цепляева // Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского [Электронный ресурс]. – Электрон. данные. – СПб: ВСЕГЕИ, 2017. – С.432–434.

20. Цепляева, А.И. Особенности применения методов оценки текущего напряжённо–деформированного состояния для прогноза продуктивности залежей УВ палеозойского фундамента Западной Сибири (Красноленинский свод) / А.И. Цепляева, Е.А. Ромашев // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т.1.–Тюмень: ТИУ, 2017.– С.83–86