

На правах рукописи

БОБРОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ

**ПРОГНОЗ ЗОНЫ РАЗВИТИЯ ВЕРХНЕЮРСКОГО
ПЛАСТА Ю₁³ В ПРЕДЕЛАХ ЮЖНОЙ ПЕРИКЛИ-
НАЛИ КАЙМЫСОВСКОГО СВОДА ПО ДАННЫМ
АТРИБУТНОГО АНАЛИЗА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D**

25.00.12 – геология, поиски и разведка нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск – 2021

Работа выполнена в Акционерном обществе «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа» и Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Белозеров Владимир Борисович доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией геологии ЦППСНД Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный Исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

Официальные оппоненты:

Бородкин Владимир Николаевич доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Геология месторождений нефти и газа», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Сапьяник Виктор Васильевич кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела геологии Западной Сибири, Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» (ФГБУ «ВНИГНИ», 105118, г. Москва, Шоссе Энтузиастов, 36)

Защита состоится 24 марта 2022 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 003.068.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), в конференц-зале.

Отзыв в двух экземплярах, оформленный в соответствии с требованиями Минобрнауки России (см. вклейку), просим направлять по адресу:

630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3

факс (8-383) 330-28-07,

e-mail: KostyrevaEA@ipgg.sbras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ИНГГ СО РАН:

http://www.ipgg.sbras.ru/dissertations/bobrov2021/Text_dissertaciya_Bobrov2021.pdf

Автореферат разослан 3 февраля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.г.-м.н.

Е.А. Костырева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень ее разработанности

В настоящее время в Западной Сибири существует проблема истощения крупных месторождений с относительно простым геологическим строением. В данной ситуации приходится обращать внимание на малоразмерные и сложнопостроенные ловушки углеводородов. Одним из объектов поиска таких ловушек является исследуемый участок, расположенный в пределах Крапивинско-Моисеевского поднятия. Рассматриваемый район обладает значительным потенциалом для восполнения ресурсной базы региона. Благоприятным фактором для поиска и добычи углеводородов является наличие развитой инфраструктуры нефтедобычи.

Основные перспективы открытия новых залежей углеводородов в Каймысовской нефтегазоносной области связаны с горизонтом Ю₁, который приурочен к отложениям келловей-оксфордского яруса верхней юры. Вопросы строения и условий формирования келловей-оксфордских отложений в данном районе были рассмотрены в следующих работах: В.Я. Шерихора (1961), Т.И. Гуровой и В.П. Казаринова (1962, 1971), Ф.Г. Гурари (1962, 1999), З.Я. Сердюк (1966), И.И. Нестерова (1966), Г.Э. Прозоровича и З.Л. Валюженича (1966, 1968), Г.Н. Перозио (1967, 1970, 1995), Л.В. Залазаевой и Н.П. Запивалова (1972), С.И. Филиной и др. (1973, 1976, 1979), М.С. Зонн и др. (1973, 1975), Е.Е. Даненберга (1973, 1980, 1984), А.Э. Конторовича (1977, 1999, 2000), В.Б. Белозерова (1980, 1985, 2001), Г.М. Волощука (1985), Ю.Н. Карогодина и Е.А. Гайдебуровой (1985), Н.А. Брылиной (1986, 1989), И.А. Иванова и Г.И. Кириенко (1987), В.А. Конторовича (1992, 1998, 2002), А.В. Ежовой и М.Р. Цибульниковой (1989), В.С. Славкина (1995) и других исследователей.

Проблемы сейсмогеологического прогнозирования коллекторов переходных зон отложений верхней юры в пределах Каймысовского свода ранее были отражены в работах Конторовича В.А., Славкина В.С., Белова Р.В., Глебова А.Ф.

В качестве стратотипа верхнеюрских отложений для юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты рассматривается васюганская свита. Согласно существующему расчленению горизонт Ю₁ васюганской свиты повсеместно разделяется выдержанным угольным пластом У₁ на две толщи. Нижняя регрессивная подугольная толща включает пласты Ю₁³, Ю₁⁴ и Ю₁⁵⁻⁶. Верхняя трансгрессивная надугольная толща объединяет пласты Ю₁⁰, Ю₁¹, Ю₁². На некоторых территориях морские отложения подугольной и надугольной толщ отделены не угольным пластом У₁, а песчано-углисто-глинистой пачкой континентального генезиса (междуугольной толщей).

Объект исследований – пласт Ю₁³ является первоочередным объектом разработки на Моисеевском, Двуреченском и Крапивинском месторождениях.

Согласно тектоническому районированию юрского структурного яруса район работ расположен в пределах Крапивинско-Моисеевского поднятия – структуры третьего порядка. Крапивинско-Моисеевское куполовидное поднятие расположено в зоне сочленения Каймысовского свода и Нюрольской мегавпадины (рисунок 1).

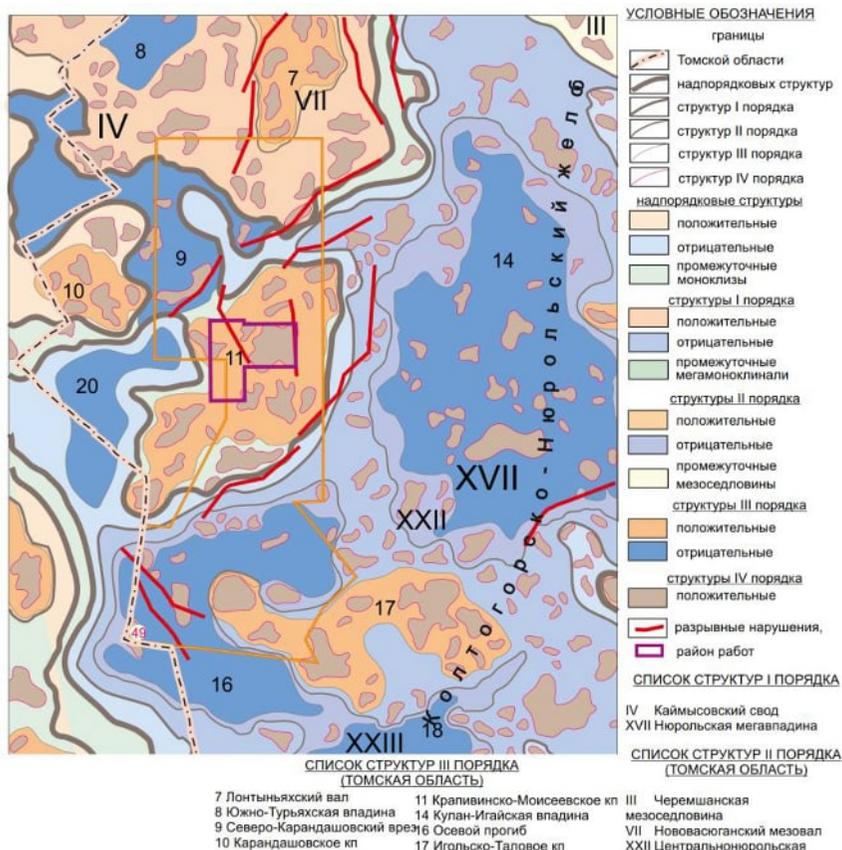


Рисунок 1 – Тектоническая карта юрского структурного яруса (фрагмент).
Редактор Конторович В.А., 2002 г.

Актуальность работы обусловлена отсутствием методики картирования нетрадиционных ловушек в верхнеюрских коллекторах горизонта Ю₁ в южной части Каймысовского свода, в частности на Моисеевском месторождении и прилегающих территориях, в которой учитывались все имеющиеся материалы. Данные, полученные в результате бурения поисковых и разведочных скважин, свидетельствуют о сложном, неравномерном пространственном размещении продуктивных пластов. Во многих пробуренных скважинах промышленных притоков нефти не получено. Притоки углеводородов в скважинах на исследуемом участке не всегда контролируются структурным фактором, что позволяет предположить наличие залежей нефти в ловушках неструктурного типа.

Необходимость широкого использования сейсмических атрибутов при интерпретации данных сейсморазведки, в особенности на месторождениях, залежи которых связаны с ловушками различного типа экранирования: литологическое, тектоническое, требует новых подходов к совместной интерпретации геологических и геофизических данных. В конце 20 начале 21 века с развитием пространственной сейсморазведки методом общей глубинной точки специалисты все чаще обращаются к комплексированию геолого-геофизической информации с целью повышения достоверности геологических моделей месторождений.

Системный комплексный подход к использованию информации по скважинам и данных сейсморазведочных работ 3D выполненных в пределах рассматриваемой территории в 2011 и 2015 годах позволяют осуществить качественный пространственный прогноз зон развития улучшенных коллекторов с целью оптимизации процессов разведки и эксплуатации уже открытых месторождений и подготовки новых перспективных нефтепоисковых объектов сложнопостроенного типа.

Цель работы заключается в разработке методики картирования верхнеюрских коллекторов пласта Ю₁³ для района юго-восточной части Каймысовского свода с помощью атрибутного анализа сейсморазведки 3D.

В диссертационной работе решалась следующая научная задача: применение методики для оптимизации поиска, разведки и эксплуатации залежей углеводородов в отложениях верхней юры юго-восточной части Каймысовского свода на основе разработки методики картирования продуктивного резервуара по данным атрибутного анализа сейсморазведки 3D.

Принятая в диссертации методика исследований позволила разделить решение задачи квалификационной работы на ряд этапов:

- определить порядок залегания пластов в интервале верхнеюрских отложений, выделить пласт Ю₁³ и выполнить его корреляцию по скважинам.

- с помощью методов фациальной диагностики терригенных отложений установить фациальную принадлежность отложений пласта Ю₁³. Осуществить подбор концептуальной седиментационной модели формирования пласта.
- выполнить сеймостратиграфическую привязку отраженных волн. Определить на временных разрезах интервал, к которому приурочены отложения подугольной толщи васюганской свиты.
- выполнить анализ геологических причин формирования аномалий волнового поля в верхнеюрском интервале разреза с помощью исследования упругих характеристик пород и двухмерного сейсмогеологического моделирования.
- рассчитать сейсмические атрибуты в окнах различной длины в верхнеюрском интервале разреза.
- сопоставить данные по скважинам и результаты атрибутного анализа.
- построить трехмерную фациальную модель исследуемой территории с использованием данных по скважинам и материалов сейсморазведки 3D.

Научная новизна

1. Предложена методика построения литолого-фациальной модели на основе комплексной интерпретации данных по скважинам, включающей в себя литолого-седиментологический анализ керна, электрофациальное районирование территории, гранулометрический анализ и результатов атрибутного анализа, выполненного по материалам сейсморазведочных работ 3D.

2. Выявлены геологические предпосылки изменения волнового поля в интервале верхнеюрских пород. В результате выполненного анализа сейсмических атрибутов, определены аномалии, отражающие строение пласта Ю₁³. Предложена их геологическая интерпретация в соответствии с выбранной в работе концептуальной моделью среды осадконакопления.

3. Впервые построена 3D фациальная модель зоны сочленения Моисеевского и восточной части Двуреченского месторождений с целью картирования коллекторов пласта Ю₁³ при помощи сейсмических атрибутов волнового поля по данным сейсморазведки 3D.

Основные защищаемые положения

1. Проведенные геолого-геофизические исследования свидетельствуют о формировании пласта Ю₁³ в условиях дельты.

2. Основные фациальные обстановки пласта Ю₁³ фиксируются сейсмическими атрибутами: амплитудными, частотными, фазовыми, объективность использования которых подтверждается результатами двухмерного сейсмогеологического моделирования.

3. Использование данных атрибутного анализа сейсморазведки 3D в комплексе с результатами анализа керна и ГИС позволяют выполнить достоверное построение трехмерной фациальной модели пласта Ю₁³ в межскважинном пространстве.

Фактический материал, методы исследования и личный вклад автора

Для решения поставленной цели использовались данные ГИС по 76 скважинам, данные керна по 16 скважинам, данные сейсморазведки 3D общей площадью 350 км².

Лично автором выполнен анализ и обработка всех перечисленных выше фактических данных. Реализована методика комплексной интерпретации данных керна, ГИС и сейсморазведки для отложений верхневазюганской подсистемы исследуемой территории.

Исследования выполнялись в рамках договоров АО «ТомскНИПИнефть»: «Проведение обработки и интерпретации материалов МОГТ 3D сейсморазведочных работ на Карайско-Моисеевском №49 (Западно-Моисеевская площадь) и Крапивинском №30 (Крапивинское месторождение) лицензионных участках ОАО «Томскнефть» ВНК» (2012 г.) и «Проведение обработки и интерпретации материалов МОГТ 3D сейсморазведочных работ на Карайско-Моисеевском лицензионном участке (Моисеевское месторождение) ОАО "Томскнефть" ВНК» (2015 г.)

Степень достоверности результатов выполненного исследования определяется исчерпывающе полным использованием имеющихся геологоразведочных материалов, качеством их интерпретации и применением адаптированной к объекту исследования инновационной методики интерпретации (электрофациальный анализ данных ГИС, атрибутный анализ материалов сейсморазведки 3D).

Теоретическая и практическая значимость работы

Работа имеет научно-практическую значимость. Научный подход основан на литогенетическом исследовании пород, использовании сейсмогеологического моделирования в совокупности с результатами анализа сейсмических атрибутов волнового поля. Такой подход должен являться, по мнению автора, неотъемлемой частью исследований, необходимых для объективного прогноза зон развития нефтеперспективных коллекторов и эффективного промышленного освоения углеводородного потенциала территории. Представленная последовательность исследований позволяет усовершенствовать методику сейсмогеологического прогноза нефтеносных резервуаров. Разработанная методика комплексной интерпретации может использоваться на площадях с близкими условиями формирования нефтесодержащих пород. Практическая реализация работы заключается в

сейсмогеологическом прогнозировании зон улучшенных коллекторов с целью корректировки местоположения эксплуатационных скважин в пределах рассматриваемой территории и выявлении новых нефтеперспективных поисковых объектов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. По направленности решаемых задач область диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 25.00.12 – «геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений», а именно пунктам «методология прогнозирования, оценки ресурсов и подсчет запасов нефти и газа» и «современные методы поисков и разведки месторождений».

Публикации и апробация работы.

По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных статей и тезисов, из которых 3 статьи опубликованы в журналах, рекомендуемых ВАК РФ.

Полученные в ходе работы выводы и обобщения представлялись на научно-практических конференциях: молодых специалистов АО «ТомскНИПИнефть» (г. Томск, 2011 г., 2012 г.); научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ (Тюмень, 2013 г.); VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов) (г. Новосибирск, 2014 г.); XVIII и XIX международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2014 г., 2015 г.); пятой международной научно-практической конференции ЕАГО (г. Алушта, респ. Крым 2015 г.); 18-й научно-практической конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель-2016» (г. Геленджик, 2016).

Структура и объем диссертации.

Диссертация включает введение, пять глав, заключение, список используемой литературы.

Полный объем диссертации составляет 144 страницы, в том числе 60 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 116 наименований.

Во введении обсуждается актуальность работы, изученность объекта исследований, цели и задачи, научная новизна, научная и практическая значимость диссертации. Выполнен литературный обзор проблемы прогнозирования коллекторов рассматриваемого района.

В первой главе рассмотрены вопросы стратиграфии и тектоники применительно к району и объекту исследования.

Во второй главе рассмотрено строение объекта исследования. Приведена литолого-седиментационная характеристика пласта Ю₁³, представлены результаты гранулометрического анализа, выполнено разделение

территории по типу разреза пласта Ю₁³ в рамках электрофациального анализа, осуществлено обоснование концептуальной модели формирования пласта Ю₁³.

В третьей главе изучены предпосылки формирования аномалий волнового поля в верхнеюрском интервале разреза с помощью исследования упругих характеристик пород. Выполнены и приведены результаты сейсмогеологического моделирования, сейсмофациального и атрибутного анализа.

В четвертой главе проведена геологическая интерпретация выявленных на сейсмических атрибутах аномалий волнового поля.

В пятой главе выполнено построение трехмерной фациальной модели исследуемой территории с использованием данных по скважинам и материалов сейсморазведки 3D.

В заключении сформулированы итоги проведенных автором исследований.

Диссертация выполнена в институте АО «ТомскНИПИнефть» и Национальном исследовательском Томском политехническом университете под научным руководством профессора, доктора геолого-минералогических наук Белозерова Владимира Борисовича, которому автор выражает благодарность и признательность. Автор признателен компании АО «Томскнефть» ВНК и лично Захарову С.В., Денисову Н.В. за возможность использования геолого-геофизических материалов. Автор также выражает особую благодарность Кравченко Г.Г. и Чесалову А.В. за научное консультирование и ценные советы на всех этапах подготовки работы, а также Молодых П.В., Голященко А.В., Гладилину С.А., Надеину С.М., за поддержку коллективу отдела сейсморазведочных работ УРГиГРР АО «ТомскНИПИнефть».

ПОЛОЖЕНИЕ 1. Проведенные геолого-геофизические исследования свидетельствуют о формировании пласта Ю₁³ в условиях дельты.

Выявление фациальных типов отложений, их локализация в пространстве, уточнение зон распространения литологической неоднородности и обоснование перспективных объектов для поиска углеводородов, является необходимым этапом эффективной разработки месторождений нефти и газа. Знание обстановок осадконакопления имеет большое значение для любых последующих исследований по прогнозированию нефтеперспективных зон.

В результате литолого-седиментологических исследований ядра в скважинах, были выявлены характерные признаки осадков для восточной и западной частей исследуемой территории. В результате анализа ядра в

скважине 55, расположенной в восточной части участка исследований, было обнаружено, что нижняя часть пласта формировалась в обстановке субаквальной части дельты, а верхняя часть в субаральной части дельтовой равнины. Осадки накапливались в типичных для данных типов обстановок условиях: *русел дельтовых рукавов, конусов прорыва, прирусловых валов, межрусловых маршей* (рисунк 2).

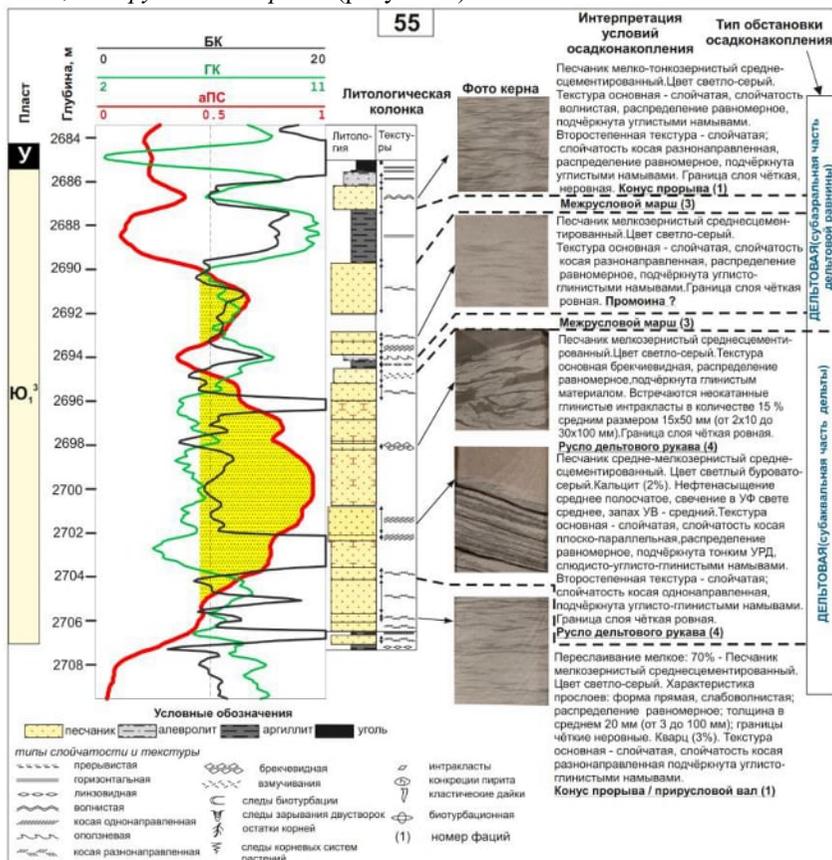


Рисунок 2 – Геолого-геофизическая характеристика разреза по скважине Моисеевская 55

Выполненные литолого-седиментологические исследования керна в скважинах, расположенных в западной части территории, позволили сделать вывод, что нижняя часть пласта была сформирована в условиях кону-

сов выноса дельтовых рукавов. Вверх по разрезу отложения дельтовых конусов выноса сменяются отложениями барьерного побережья. Отложения баров нижнего пляжа сложены мелкозернистым песчаником и являются наиболее перспективными в плане фильтрационно-емкостных свойств коллекторов.

Распределение фаций в восточной части площади показывает, что породы формировались в обстановках дельтового комплекса с присутствием дельтовых рукавов. При определении по керну обстановок седиментации в западной части площади, также отмечены признаки дельтового комплекса, с последующим усилением влияния мелководно-морского режима. В ходе исследования обнаружена тенденция смены субконтинентальных обстановок формирования пласта Ю₁³ – мелководно-морскими. Дельтовые отложения характеризуются переходными фациями, которые формируются на границе континентальной и морской обстановок седиментации.

Одним из методов фациальной диагностики терригенных отложений был предусмотрен анализ гранулометрических исследований по результатам которых были построены динамогенетические диаграммы Г.Ф. Рожкова, Р. Пассеги и привлечены обобщения по генетической принадлежности осадков Фюхтбауэра и Мюллера. Несмотря на различный подход к определению условий седиментации, результаты, полученные на двух диаграммах для водной среды седиментации, и обобщениях Фюхтбауэра и Мюллера оказались во многом сходными и соответствуют результатам седиментационного анализа керна.

Для определения площадного распространения фации был выполнен электрофациальный анализ по данным нормированного каротажа самопроизвольной поляризации (α ПС). Особенности литологического строения и фильтрационно-емкостной неоднородности пласта, изученные по результатам разведочного и эксплуатационного бурения, а также седиментологические исследования керна ряда скважин, позволили выделить на исследуемой территории по данным каротажа α ПС 5 типов разреза (рисунок 3). К наиболее перспективным в плане емкости коллекторов относятся 2, 4 и 5 типы разрезов.

Повышение эффективности разведки и разработки залежей углеводородов в терригенных коллекторах на основе совместного использования седиментационной модели продуктивного резервуара и электрофациального анализа осадочной толщи предусматривает подбор наиболее оптимальной седиментационной модели из числа выделяемых в изучаемой фациальной группе пород, удовлетворяющей наблюдаемому пространственному распределению электрофаций по скважинам (Белозеров В.Б).

Опираясь на проведенные исследования, можно утверждать, что в восточной части территории осадки формировались в субконтинентальном

режиме, в западной части осадконакопление проходило в режиме близком к мелководно-морскому.

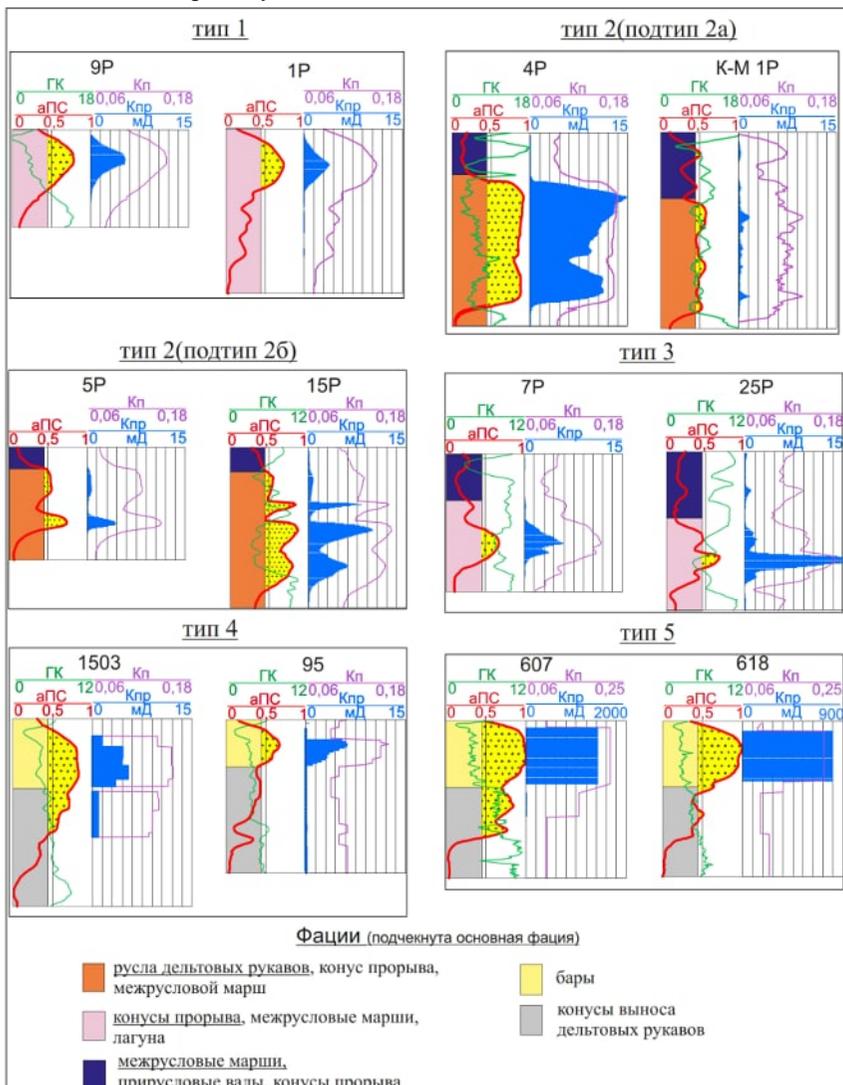


Рисунок 3 – Типы разрезов пласта Ю₁³

Вывод, подтверждающий первое научное положение: *текстурно-структурные особенности пород свидетельствуют о том, что породы формировались, в период регрессии бассейна: выноса песчаного материала дельтовыми рукавами с последующей волновой переработкой материала в условиях барьерного побережья.*

ПОЛОЖЕНИЕ 2 Основные фациальные обстановки пласта Ю₁³ фиксируются сейсмическими атрибутами: амплитудными, частотными, фазовыми, объективность использования которых подтверждается результатами двухмерного сейсмогеологического моделирования.

В рамках исследования были проанализированы результаты измерений скоростных характеристик на керне. Зависимость акустического импеданса и коэффициента пористости по образцам, отобранным в интервале пласта Ю₁³, представлены на рисунке 4. Можно отметить на графике, как характерные для западной части территории отложения *баров нижнего пляжа и конусов выноса дельтовых рукавов*, составляют единый тренд. В свою очередь высокеемкие коллектора баров нижнего пляжа характеризуются пониженными значениями акустического импеданса. Породы восточной части территории, сформированные в условиях *дельтовых рукавов*, отличаются от пород западной части по наклону тренда, и характеризуются повышенным значением акустического импеданса. Повышенные значения акустической жесткости пород восточной части связаны со сменой обстановок осадконакопления, которые повлияли на увеличение общей карбонатизации.

Отложения дельтовой равнины вскрыты скважиной, расположенной в центральной части территории. В данных отложениях присутствуют фациальные признаки пород типичных как для восточной, так и для западной части.

С целью оценки влияния особенностей литологии пласта Ю₁³ на волновую картину, было выполнено сейсмогеологическое моделирование. В результате проведенного анализа керна и обобщённых скоростных характеристик пород юрского и нижнемелового разреза по данным акустического каротажа, составлена таблица значений пластовых скоростей наиболее распространённых литологических разностей, участвующих при построении двухмерных сейсмогеологических моделей верхнеюрского интервала разреза (таблица 1).

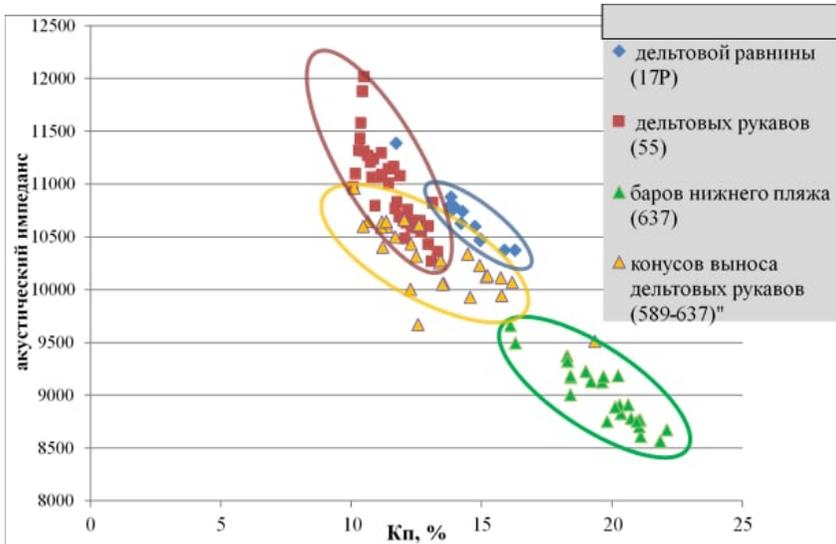


Рисунок 4 – Зависимость акустического импеданса от коэффициента пористости для разных обстановок осадконакопления песчаников пласта Ю₁³ (скважины 637, 589, 17, 25. по керну)

Таблица 1 – Значения пластовых скоростей пород участвующих в построении моделей верхнеюрского разреза

Литологическая характеристика породы		скорость (м/сек)
1	породы низов куломзинской свиты	3600
2	битуминозный аргиллит баженовской свиты	2970
3	аргиллиты горизонта Ю ₁	3900
4	алевролиты горизонта Ю ₁	4000
5	песчаник горизонта Ю ₁	4100
6	песчаник карбонатизированный горизонта Ю ₁	4800
7	уголь	2750
8	аргиллиты нижневасюганской подсвиты	3850

На построенном синтетическом сейсмическом разрезе через скважины 22P-21P-25P-6P-4P-9P, можно выделить следующие сейсмические реперы и их стратиграфические аналоги: Па – подошва баженовской свиты, У1 – угольный пласт васюганской свиты, У2 – угли верхней части тюменской свиты (рисунок 5). На модельном сейсмическом разрезе можно выделить 4 типа рисунка волнового поля.

Первый тип рисунка характерен для западной части территории. В качестве факторов осложняющих сейсмическую запись, здесь могут выступать высокоскоростные карбонатизированные прослои в толще аргиллитов баженовской свиты. На рисунке 5а можно наблюдать раздвоение верхней положительной фазы и уменьшение амплитуды отрицательной фазы ниже репера Па. Для определения влияния плотных прослоев на область интереса, связанную с интервалом между реперами У1 и У2, карбонатизированные прослои были исключены из модели (рисунок 5б). Ниже репера У1 характер записи не изменился. Появление дополнительного положительного экстремума в интервале У1-У2 связано с перепадом скоростей на границе песчаных пород подугольной толщи (пласт Ю₁³) и алевролитоглинистых пород нижневасюганской подсвиты. Этот тип волнового поля соответствует 4 и 5 типам разреза, выделенным в результате электрофациального анализа по скважинам.

Второй тип рисунка характерен для центральной и восточной части территории. Отсутствие дополнительной положительной фазы под репером У1 связано с отсутствием песчаного пласта Ю₁³ достаточной мощности, способного сформировать самостоятельное отражение. Данный тип волнового поля соответствует 3 типу разреза, выделенному по скважинным данным.

Третий тип рисунка аналогично первому, характеризуется появлением дополнительной фазы. Амплитуда фазы зависит от мощности песчаных пород пласта Ю₁³. На рисунке 5 дополнительная фаза с максимальной амплитудой отмечается в скважине 4Р, которая вскрыла разрез с увеличенной мощностью песчаников пласта Ю₁³ (17,5 м). Третий тип рисунка волнового поля соответствует 2 типу разреза, выделенному в результате электрофациального анализа, в восточной части территории.

Четвертый тип рисунка. Отличие от 2 типа рисунка заключается в фазе, связанной с репером У1, которая характеризуется большей мощностью и меньшей амплитудой. Данный тип рисунка волнового поля соответствует 1 типу разреза, выделенному по скважинным данным в восточной части территории.

В результате сейсмического моделирования, можно отметить, что наиболее перспективные в плане емкости коллекторов типы разреза пласта 2, 4 и 5, характеризуются на синтетических временных разрезах появлением дополнительной фазы в интервале У1-У2. Несмотря на отсутствие значительной дифференциации скоростей в песчаниках пласта Ю₁³ (4100 м/с) и аргиллитах нижневасюганской подсвиты (3850 м/с), аномалии в волновом поле могут формироваться за счет значительного увеличения мощности песчаника в подугольной пачке. Для восточной части территории (тип рисунка волнового поля 3) увеличение мощности песчаников пласта

$Ю_1^3$ связано с развитием фаций русел дельтовых рукавов, для западной части (тип рисунка волнового поля 1) с конусами выноса дельтовых рукавов и отложениями барьерного побережья.

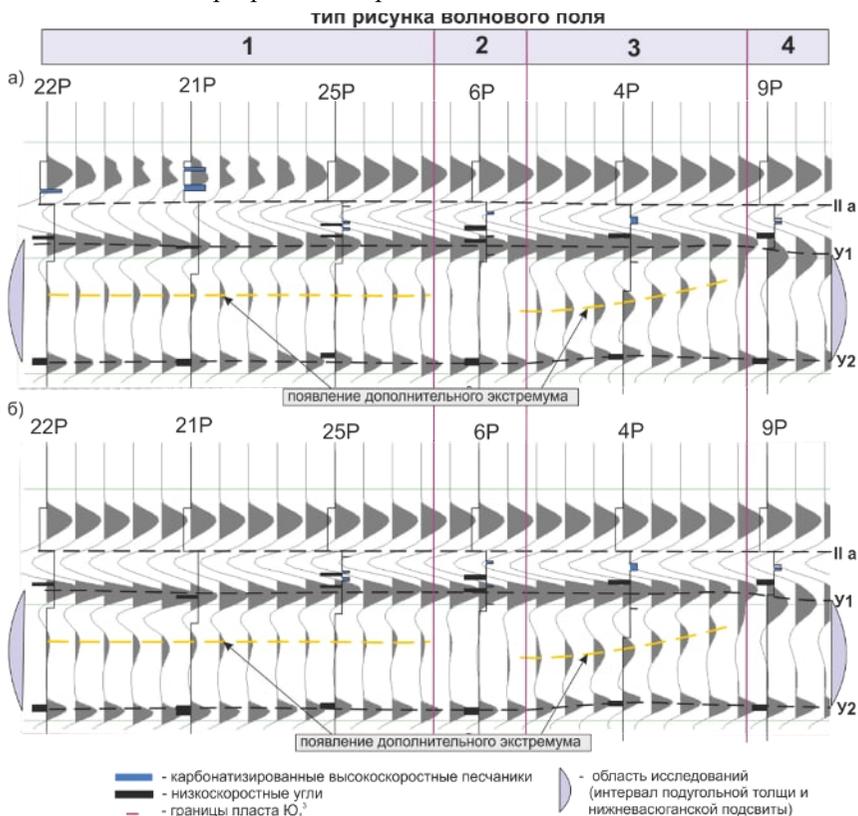


Рисунок 5 – Результат сейсмического моделирования по направлению запад-восток, а) с наличием карбонатизированных прослоев в интервале баженовской свиты в скважинах 21P, 22P б) с исключением из модели карбонатизированных прослоев в интервале баженовской свиты в скважинах 21P, 22P

По сейморазведочным данным 3D был оценен частотный спектр в интервале, который включает исследуемые отложения верхневасюганской подбиты. Запись, которая несет в себе максимум полезной информации, находится в частотном диапазоне от 12 до 48 Гц. Учитывая скорости пробега продольных волн в интервале исследуемых пород, можно оценить

вертикальную разрешающую способность сейсморазведки на данной территории. По данным сейсмокаротажа 4 скважин было определено, что скорость продольных волн в интервале верхней юры составляет 2513 м/с. Зная значения скорости пробега волны и частоты в интервале верхнеюрских пород, были посчитаны преобладающие длины продольных волн на исследуемой территории по формуле (1).

$$\lambda = V/f, \quad (1)$$

где λ – длина волны, м/с;

V – скорость волны, м;

f – частота, Гц.

Полученные в результате расчета значения длин волн для верхней юры находятся в пределах от 52 до 210 метров. Среднее значение длин волн составляет 66 м исходя из значения скорости (2513 м/с) и доминантной частоты, которая была оценена по всей площади исследования (38 Гц). Вертикальная разрешающая способность сейсморазведки согласно критерию Релея, равна четверти длины волны, по критерию Вайдеса одной восьмой длины волны. На диаграмму (рисунок 6) вынесены наиболее перспективные фации в плане емкости коллекторов.

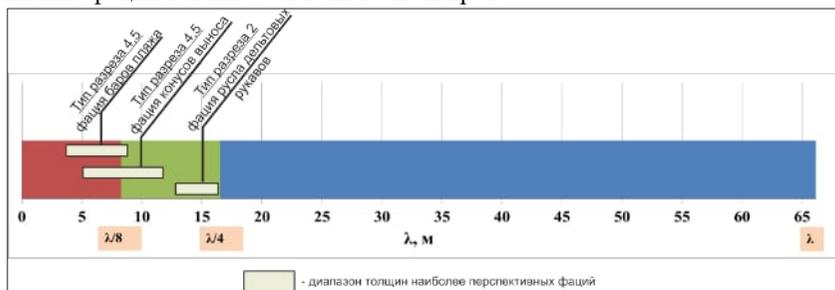


Рисунок 6 – Диаграмма рассчитанного среднего значения длины волны

В результате, можно утверждать, что в волновом поле будет отражено распространение типа разреза 2 с преобладающими фациями русел дельтовых рукавов (среднее значение толщины 14,5 м). Вероятно, получит отражение в волновом поле фация конусов выноса дельтовых рукавов, которая входит в 4, 5 тип разреза (среднее значение толщины 9 м). С малой долей вероятности, в волновом поле обозначится фация баров пляжа, которая также входит в 4, 5 тип разреза (среднее значение толщины 6 м). Возможно появление фации баров малой толщины в диапазоне более высоких частот.

Вывод, подтверждающий второе научное положение: *Опираясь на результаты акустических исследований керна, двухмерное сейсмическое моделирование, оценки преобладающих длин волн, можно утверждать, что основные фациальные обстановки пласта Ю₁³ будут выделяться в полях сейсмических атрибутов.*

ПОЛОЖЕНИЕ 3 Использование данных атрибутного анализа сейсморазведки 3D в комплексе с результатами анализа керна и ГИС позволяют выполнить достоверное построение трехмерной фациальной модели пласта Ю₁³ в межскважинном пространстве.

Применительно к территории исследования, прогнозирование неоднородной геологической среды только по скважинным данным носит субъективный характер. Это связано с недостаточным количеством скважин и их неравномерным распределением по площади. В этом случае интерпретация геологического разреза без привлечения данных сейсморазведки 3D не обоснована. Считается, что изменчивость геологической среды находит свое отражение в волновом сейсмическом поле, а поскольку оно непрерывно, то является хорошим инструментом для прогнозирования пространственного положения геологических неоднородностей в межскважинном пространстве.

Литолого-фациальное районирование и прогнозирование интервалов разреза в пределах исследуемых территорий, является одним из направлений использования атрибутов сейсмической записи. В ходе диссертационной работы была выполнена интерпретация карт сейсмофаций и сейсмических атрибутов в верхнеюрском интервале разреза. Опираясь на подобранную концептуальную модель и полученные карты сейсмических атрибутов, появилась возможность определить границы и характер распространения фаций пласта в плане.

Для восточной и южной части территории была закартирована аномалия, связанная с результатом деятельности небольших по мощности (3-5 м) дельтовых рукавов разных циклов седиментации, песчаные отмели которых, в случае наложения друг на друга представляют относительно мощный (17 м) коллектор. Прогнозирование распространения песчаных тел, связанных с каждым циклом в отдельности затруднительно ввиду разрешающей способности сейсморазведки. В волновом поле мы видим общий результат деятельности дельтовых рукавов, представленный поясом мандрирования (рисунок 7).

Для западной части рассматриваемой территории были закартированы аномалии типа «конуса выноса» и аномалии в виде полос северо-восточного простирания. Согласно принятой концептуальной модели, нижняя часть пласта Ю₁³ в западной части, формировалась в условиях конусов

выноса дельтовых рукавов. Полученная картина по результатам атрибутивного анализа подтверждает концептуальную модель и позволяет на качественном уровне оценить распространение в плане конусов выноса дельтовых рукавов.

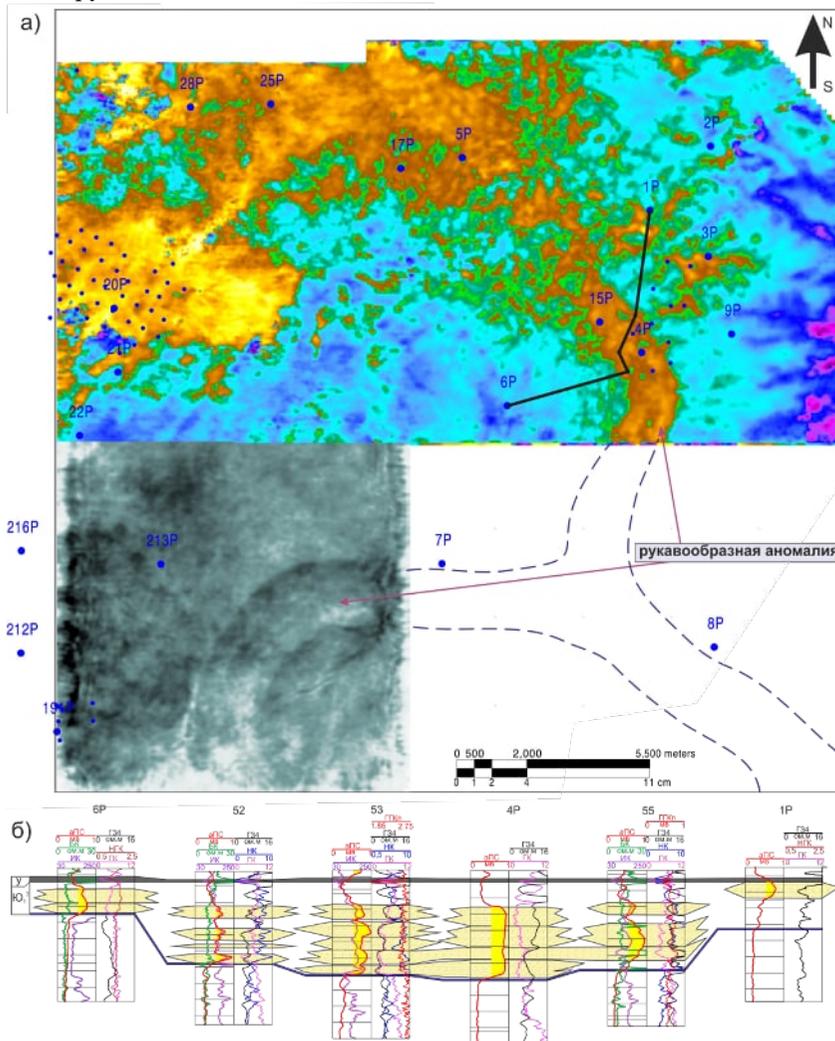


Рисунок 7 – Выделение сейсмообраза «пояса меандрирования дельтовых рукавов» а) горизонтальный срез по палеокубу б) палеосхема корреляции пласта Ю₁³

Верхняя часть пласта Ю₁³ формировалась в условиях барьерного побережья. Направление аномалий в виде полос отражают строение *барьерного побережья*. Отсутствие аномалий на востоке, северо-востоке предполагает смену обстановок *пляжа*. Эта граница совпадает со сменой сейсмofаций, и сменой динамических характеристик на картах некоторых сейсмических атрибутов. Одна из полосообразных аномалий располагается вблизи ряда эксплуатационных скважин, в которых верхняя часть пласта Ю₁³ представляет высокопроницаемую пачку (проницаемость более 1 Дарси). Данные аномалии вероятнее всего связаны с баровыми телами.

При построении трехмерной фациальной модели использовалась вся полученная в результате исследования геолого-геофизическая информация: фации концептуальной модели, цикличность накопления осадков пласта Ю₁³, анализ сейсмических атрибутов для определения распространения в межскважинном пространстве геологических особенностей пласта.

При моделировании было принято решение разделить стратиграфический объем пласта Ю₁³ на 5 интервалов (толщ) соответствующих циклам осадконакопления.

Самый ранний этап осадконакопления пласта Ю₁³ связан с начальным этапом регрессии, деятельность которой в первую очередь проявилась на восточной части исследуемой территории. В результате снижения уровня моря, в восточной части рассматриваемой территории получили развитие дельтовые каналы. В западной части площади преобладали морские отложения.

Второй этап характеризуется продолжающейся регрессией по направлению восток-запад, юго-восток - северо-запад. В восточной и южной частях территории максимальное развитие получили русловые отложения дельтовых рукавов (рисунок 8). В пределах пояса меандрирования рукавов, в некоторых скважинах, можно наблюдать увеличение песчаной фракции. Латерально замещающими породами песчаных отложений основных дельтовых каналов, послужили песчано-глинистые осадки субаэральной части дельтовой равнины: междельтовых маршей, конусов прорыва, второстепенных дельтовых каналов. Простираение пояса меандрирования и его размеры были определены по результатам анализа сейсмических атрибутов. В западной части территории этап представлен песчано-глинистыми отложениями ранней стадии выдвигания дельты. Песчаные отложения формировались в условиях конусов выноса дельтовых рукавов.

Третий этап осадконакопления характеризуется продолжением регрессии. В восточной и южной частях территории, по-прежнему развиты отложения дельтовых рукавов в пределах субаэральной части дельтовой равнины.

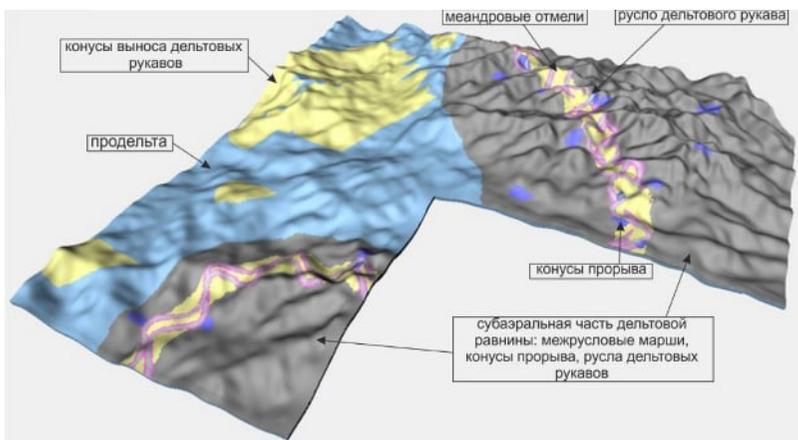


Рисунок 8 – Модель цикла осадконакопления 2 согласно структурному плану

В западной части территории происходит обмеление бассейна, что способствовало формированию регрессивных прибрежно-морских песчаников покровного типа осложненных конусами выноса дельтовых рукавов. Низкая гидродинамика морского бассейна и большое количество поступившего обломочного материала предопределили слабую переработку осадков. Граница между регрессивными песчаными отложениями прибрежной части моря и глинистыми отложениями надводной дельтовой равнины была определена по картам сейсмофаций и сейсмических атрибутов.

Во время четвертого цикла регрессия приближается к максимуму. В восточной и южной частях господствует режим близкий субконтинентальному. В западной части происходит обмеление бассейна. Преобладают волновые процессы, что способствует гидродинамической переработке песчаных осадков. В пределах покровных регрессивных песчаников формируются линейно вытянутые зоны «барового» типа, где кровельная часть за счёт их гидродинамической проработки в зоне пляжа обладает значительной степенью сортировки терригенного материала и высокими коллекторскими свойствами. Линия замещения прибрежно-морских регрессивных песчаников глинистыми отложениями надводной части дельты была выделена по результатам интерпретации карт сейсмических атрибутов, в том числе спектральной декомпозиции.

Во время пятого цикла регрессия достигла максимума. На всей исследуемой территории установился субконтинентальный режим. Формируются осадки характерные для приморского болота, которые в дальнейшем были преобразованы в уголь.

Вывод, подтверждающий третье научное положение: *использование сейсмических атрибутов позволяет определять границы фациальных обстановок в межскважинном пространстве, тем самым повышая качество трехмерных моделей.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационной работы получены следующие результаты:

- На основе литолого-седиментологического анализа установлено, что породы пласта Ю₁³ сформировались в условиях дельтового комплекса, испытывающего влияние волновой переработки осадков.

- С помощью электрофациального анализа выполнено разделение территории по типу разреза. Определены наиболее перспективные типы разреза.

- В результате анализа акустических исследований на керне и коротажных диаграмм, выявлено различие упругих свойств для восточной и западной части территории, которое связано с повышенной карбонатизацией пород в восточной части.

- Анализ результатов сейсмогеологического моделирования и оценка разрешающей способности сейсморазведки показали, что основные перспективные фации русел дельтовых рукавов, конусов выноса, баров, будут отображаться в полях сейсмических атрибутов.

- В результате интерпретации атрибутов сейсмической записи определено пространственное положение пояса меандрирования дельтовых рукавов, граница между песчаными отложениями конусов выноса дельты и песчано-глинистыми отложениями субаэральной части дельтовой равнины, граница отложений пляжа. Полученные результаты послужили основой для построения трехмерной фациальной модели исследуемой территории.

- Полученные результаты о пространственном положении и размерах наиболее перспективных песчаных тел позволят минимизировать риски при размещении разведочных и эксплуатационных скважин.

Перспективы дальнейшего развития выполненных исследований: предложенная в диссертационной работе методика, отработанная на территории исследования, как полигоне, может быть использована и на других лицензионных участках в Томской области где встречаются подобные обстановки седиментации, а также на территории ХМАО при поисках и разведке залежей на палеограничных участках суша-море, где имеют место сходные фациальные переходы (например, пласты Ю₂, Ю₃, Ю₄ Широтного Приобья).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Бобров, А.В.** Особенности геологического строения продуктивного пласта Ю₁³⁺⁴ на Южно-Черемшанском месторождении / Бобров А.В., Гладилин С.А. // Нефтяное хозяйство. – 2011. – №3 – С.22-25.
2. **Бобров, А.В.** Повышение эффективности сейсморазведочных работ на примере лицензионных участков ОАО «Томскнефть» ВНК / Бобров А.В., Бычков А.В., Денисов Н.В., Жужель В.С., Максимов В.П., Чесалов А.Ю. // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №4. – С.18-21
3. **Бобров, А.В.** Литолого-фациальная характеристика пласта Ю₁³ в районе южной периклинали Каймысовского свода на основе комплексирования данных сейсморазведки 3D и бурения / Бобров А.В., Белозеров В.Б. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – №8 – С.56-61.

В других журналах и изданиях:

4. **Бобров, А.В.** Сейсмогеологическое строение пласта Ю₁³⁻⁴ на Южно-Черемшанском месторождении. Применение факторного анализа сейсмических атрибутов для прогнозирования ФЕС / Бобров А.В. // тезисы докладов Четвертой региональной научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «ТомскНИПИнефть». – Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. – 368 с.
5. **Бобров, А.В.** Применение данных сейсморазведки для фациального анализа юрских отложений / Бобров А.В.// Тезисы 5-ой конференции молодых специалистов ОАО «ТомскНИПИнефть» – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 292 с.
6. **Бобров, А.В.** Построение фациальной модели как основы геологической модели многопластового месторождения/ Бобров А.В., Ларина Е.П., Попов В.Л., // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тюмень, 2013 г.
7. **Бобров, А.В.** Уточнение модели месторождения с неравномерным распределением коллекторов с помощью технологий спектральной декомпозиции и сейсмической инверсии по DecisionSpace (Landmark) / Бобров А.В., Иваницкий М.Ю. // VII Сибирская научно-практическая конференция молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов): Материалы конференции. – Новосибирск – 2014. – С. 318-319.
8. **Бобров, А.В.** Уточнение модели месторождения с помощью технологий спектральной декомпозиции и сейсмической инверсии по DECISIONSPACE (LANDMARK) / Бобров А.В., Иваницкий М.Ю. // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск, 2015

– С. 212-213

9. **Бобров, А.В.**, «Уточнение модели месторождения с помощью технологии спектральной декомпозиции ПО Decisionspace(Landmark) / Бобров А.В., Иваницкий М.Ю. // Материалы пятой международной научно-практической конференции ЕАГО – Алушта, респ. Крым. – 2015. – С.176-179.

10. **Бобров, А.В.** Комплексный подход к интерпретации скважинных и сейсмических данных с целью выявления структурно-литологических ловушек на примере одного из месторождений Западной Сибири/ Бобров А.В., Кравченко Г.Г.// Материалы 18–й научно-практической конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель-2016». – Геленджик 2016.

Технический редактор Т.С. Курганова

Подписано в печать 28.12.2021

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Печ.л 1,0. Тираж 157. Зак. № 204

ИНГГ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3