

На правах рукописи

САИТОВ Рашид Маратович

**ЛИТОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕНОСНОСТИ
БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА МАЛОБАЛЫКСКОМ
КУПОЛОВИДНОМ ПОДНЯТИИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

1.6.11 – геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК - 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН).

Научный руководитель:

Фомин Михаил Александрович

кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Официальные оппоненты:

Лебедев Михаил Валентинович

доктор геолого-минералогических наук, эксперт управления геолого-разведочных работ ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Прищепа Олег Михайлович

доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой Геологии нефти и газа Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербург

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, г. Москва

Защита состоится ** ***** 2024 г. в ** часов на заседании диссертационного совета Д 003.068.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале (630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, ИНГГ СО РАН)

Отзыв в двух экземплярах, оформленный в соответствии с требованиями Минобрнауки России (см. вклейку), просим направлять по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3;
e-mail: KostyrevaEA@ipgg.sbras.ru

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

<http://www.ipgg.sbras.ru/>

Автореферат разослан ** декабря 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.087.03,
к.г.-м.н.

Е.А. Костырева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объектом исследования являются разрезы баженовской свиты, вскрытые скважинами в пределах Малобалыкского, Западно-Малобалыкского месторождений и на Южно-Тепловской площади, расположенной к северу от них (рисунок 1). Исследуемая территория находится в центральной части Западно-Сибирского осадочного бассейна, административно расположена в пределах Ханты-Мансийского автономного округа.

Степень разработанности и актуальность. Еще в начале 60-х годов XX века стало очевидно, что баженовская свита является главной нефтематеринской толщей всего Западно-Сибирского осадочного бассейна. Открытие ее промышленной нефтеносности в 1967 году вызвало повышенный интерес геологов-нефтяников к этому уникальному природному объекту, в изучение которого на ранних этапах большой вклад внесли Ф.Г. Гулари, Ф.К. Салманов, Г.Р. Новиков, А.В. Тянь, И.И. Нестеров, Т.И. Гурова, А.Э. Конторович, С.И. Филина, М.С. Зонн, Ю.Н. Карогадин, И.Н. Ушатинский, Н.Б. Вассоевич, Ю.В. Брадучан, В.П. Казаринов, Т.В. Дорофеева, Е.А. Гайдебурова, А.А. Трофимук, В.Н. Сакс, М.В. Корж, Н.П. Запывалов, И.И. Плуман, Г.Н. Перезио и другие исследователи.

Снижение темпов прироста запасов углеводородного сырья на территории Российской Федерации в последние десятилетия и успех освоения сланцевых формаций в западных странах вновь привлекли внимание геологов и нефтяников к нетрадиционному, сложнопостроенному и уникальному природному объекту – баженовской свите. В настоящий момент она считается одним из перспективных источников для восполнения минерально-сырьевой базы страны, геологические ресурсы которого оцениваются в 65-100 миллиардов тонн нефти [Конторович и др., 2019].

В последние десятилетия комплексному изучению пород, слагающих баженовскую свиту, посвящены исследования, проводимые коллективами ИНГГ СО РАН (А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, С.В. Ершов, А.Г. Замирайлова, Ю.Н. Занин, В.А. Казаненков, В.А. Конторович, Е.А. Костырева, С.В. Родякин, С.В. Рыжкова, И.С. Сотнич, М.А. Фомин, Б.Н. Шурыгин, В.Г. Эдер, П.А. Ян и др.), ФГБУ ВНИГНИ (М.Б. Скворцов, М.В. Дахнова, А.М. Кирсанов), ЗАО «МиМГО» (И.В. Панченко), ВНИГРИ (О.М. Прищепа), ГИН РАН (М.А. Рогов), МГУ им. М.В. Ломоносова (Н.С. Балущкина,

Г.А. Калмыков, Н.И. Коробова, О.М. Макарова, М.М. Фомина, О.В. Хотылев), АУ НАЦ РН им. В.И. Шпильмана (В.А. Волков, Е.Е. Оксенойд, Е.В. Олейник), ООО «ЗапСибГЦ» (М.Ю. Зубков), АО «СНИИГГиМС» (Е.А. Предтеченская). Большой объем исследовательских работ выполняется специалистами научно-исследовательских центров российских нефтяных компаний (И.В. Гончаров, В.Д. Немова, В.В. Самойленко, Д.В. Федорова и другие). К сожалению, эти результаты часто носят коммерческий характер и не всегда публикуются в открытой печати.

Несмотря на детальные исследования баженовской свиты, проводимые в последние десятилетия, по-прежнему отсутствуют методы достоверного выделения продуктивных зон в этих отложениях. Это связано с большой неоднородностью состава и фильтрационно-емкостных свойств этих пород, что делает крайне затруднительным прогноз коллекторов и подсчет запасов даже в пределах одного месторождения. Таким образом, развитие исследований, проводившихся последнее десятилетие в ИНГГ СО РАН, включающее в себя изучение новых разрезов на основе современных, в том числе новых, методических и технологических приемов с использованием высокоточного оборудования представляется актуальным и будет являться вкладом в понимание геологического строения и особенностей седиментации этой высокоуглеродистой толщи. Полученные результаты послужат основой для прогноза ее нефтеносности в рассматриваемом регионе.

Цель диссертационного исследования – выявить закономерности локализации пород-коллекторов в разрезах баженовской свиты в пределах Малобалыкского куполовидного поднятия.

Научная задача – на основе комплексного анализа результатов аналитических исследований кернового материала и данных, полученных в ходе бурения скважин, определить состав баженовской свиты, изучить условия седиментации и оценить перспективы нефтеносности этих отложений в пределах Малобалыкского куполовидного поднятия.

Фактический материал и методика исследования. Теоретической основой решения поставленной задачи являются осадочно-миграционная теория нефтидогенеза и фундаментальные разработки советской и российской геологической школы в области седиментологии, палеогеографии и нефтеносности высокоуглеродистых толщ.

В ИНГГ СО РАН систематическое изучение баженовской свиты проводилось под руководством академика РАН А.Э. Конторовича более тридцати лет. В 2012-2016 годах коллективом института выполнена серия научно-исследовательских работ [Конторович и др., 2016, 2018а, 2018б, 2019а, 2019б; Рыжкова и др., 2018; Эдер и др., 2015, 2016, 2017, 2022 и др.], в рамках которой были разработаны литолого-геохимические и геолого-геофизические критерии прогноза нефтеносности баженовской свиты, теоретически обоснован тип ее коллектора в центральных и юго-восточных районах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, выполнено моделирование масштабов и объемов генерации углеводородов, проведена количественная оценка начальных геологических ресурсов нефти в этих отложениях. В 2017 году в рамках государственного контракта с Министерством энергетики РФ коллективом ИНГГ СО РАН разработаны научно-обоснованные предложения по подготовке программы создания новых перспективных технологий поиска, разведки и разработки месторождений с запасами нефти в баженовской свите.

В процессе подготовки диссертационной работы, являющейся продолжением этих исследований, проанализированы результаты изучения 313 дезинтегрированных образцов керна баженовской свиты и перекрывающих отложений в разрезах четырех скважин, расположенных в пределах Малобалыкского, Западно-Малобалыкского месторождений и Южно-Тепловской площади. Для решения поставленной задачи были проведены петрофизические и пиролитические исследования, определен состав пород, выполнено петрографическое изучение образцов, в том числе и на сканирующем электронном микроскопе (таблица 1). Широкое комплексирование методов определяется сильной изменчивостью состава баженовской свиты. Ввиду ее неоднородности отбор образцов производился каждые 0.2-0.4 метра.

Лабораторные определения пористости выполнялись в соответствии с методикой GRI (Gas Research Institute), модифицированной для высокоуглеродистых карбонатно-глинисто-кремнистых образцов баженовской свиты [Горшков, Саитов, 2023]. Для изучения состава пород были проведены рентгено-флуоресцентный анализ и лабораторные определения форм железа и серы (метод «мокрой химии»). Определение параметров S_1 , S_2 , PI, HI, T_{max} , TOC и индекса Джарви (OSI) осуществлялось методом пиролиза Rock-Eval. На основе выполненных анализов проведен пересчет химического состава пород на минеральный по методике О.М. Розена с соавторами [2000]. По

результатам этого расчета каждому образцу было присвоено литологическое название, согласно классификации, разработанной в ИНГГ СО РАН под руководством академика РАН А.Э. Конторовича [2016]. Изучение автором структурно-минералогических особенностей пород осуществлялось методом поляризационной микроскопии; изучение состава отдельных минералов, включений, остатков скелетов организмов, уточнение форм их нахождения, а также определение микроструктуры образцов – с использованием сканирующей электронной микроскопии.

Таблица 1 - Типы лабораторных исследований и объемы выполненных работ.

Тип исследования	Кол-во образцов	Исполнитель	Организация
Определение пористости образцов	313	Саитов Р.М.	АО «Геологика»
Рентгено-флуоресцентный анализ	180	к.т.н. Карманова Н.Г.	ЦКП МИИ СО РАН
Определение форм железа и серы	180	Горчукова Л.М., Фоминых И.М	ЦКП МИИ СО РАН
Пиролитические исследования	233	к.г.-м.н. Долженко К.В.	ИНГГ СО РАН
Сканирующая электронная микроскопия	101	к.г.-м.н. Фомин М.А., Саитов Р.М.	ЦКП МИИ СО РАН
Поляризационная микроскопия	125	к.г.-м.н. Замирайлова А.Г., Саитов Р.М.	ИНГГ СО РАН

Уточнение некоторых условий седиментации осуществлялась на основе распределения оксидов алюминия, калия и титана, значений отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, оцененных скоростей осадконакопления, а также проведенного палеоструктурного анализа с использованием карты толщин баженовской свиты. Оценка скоростей осадконакопления осуществлялась на основе временных интервалов накопления выделенных пачек [Панченко и др., 2016; Эдер и др., 2022], их толщин и рассчитанного коэффициента уплотнения пород. Выделение продуктивных интервалов выполнялось по результатам комплексного анализа данных петрофизических и пиролитических исследований керна,

состава пород, геолого-промысловых материалов и данных геофизических исследований скважин (ГИС) на основе признаков интервалов-коллекторов в баженовской свите согласно [Временное методическое руководство..., 2017].

Комплекс ГИС в рассматриваемых скважинах представлен диаграммами электрического, электромагнитного и радиоактивного каротажа, а также кверноммером. Сопоставление результатов аналитических исследований керна и материалов ГИС выполнено в российском программном пакете GeoOffice Solver, разработанном специалистами ОАО «НПЦ «Тверьгеофизика». Построение структурной карты по подошве баженовской свиты и карты толщин этих отложений выполнено с использованием программного пакета Surfer (Golden Software) и пакетов построения и редактирования сеточных моделей GridBilder и GridMaster, разработанных в ИНГГ СО РАН и являющихся ассоциированными модулями комплекса W-Seis.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в составлении методики исследований с учетом поставленных цели и научной задачи. Им была выполнена пробоподготовка образцов керна для определения состава пород, их петрофизических и пиролитических характеристик, а также последующего изготовления шлифов и образцов для сканирующей электронной микроскопии. Лабораторные определения объемной и минералогической плотностей и пористости на основе модифицированного метода GRI выполнялись под руководством и при непосредственном участии автора диссертации. Автор занимался петрографическим изучением большинства образцов в шлифах и на сканирующем электронном микроскопе. Им выполнен комплексный анализ и интерпретация результатов определения состава образцов, петрофизических свойств пород, а также геохимических характеристик содержащегося в них органического вещества. Автор провел расчленение разрезов верхнеюрско-нижнемеловых отложений по результатам интерпретации данных ГИС, построил структурную карту по подошве баженовской свиты и карту толщин этих отложений; проанализировал условия седиментации и влияние вторичных преобразований пород в диа- и катагенезе на их емкостные свойства (для отдельных интервалов разреза); определил перспективы нефтеносности изученных отложений.

Степень достоверности полученных результатов обусловлена единой методикой выполнения лабораторных исследований; высокой частотой отбора проб в количестве, достаточном для всех видов

исследований; использованием различных дополняющих друг друга методов и подходов к изучению образцов керна; проведением анализов и измерений на современном высокоточном лабораторном оборудовании. Приведенные автором диссертации результаты дополняют уже существующие представления о геологии баженовской свиты в выбранном регионе и не противоречат им.

Этапы исследования:

1. На основе геолого-промысловых материалов, данных ГИС и информации о проценте выноса керна был произведен выбор скважин, в разрезе которых были отобраны образцы для проведения комплекса аналитических исследований.

2. По результатам аналитических исследований кернового материала определен химический и рассчитан минеральный состав баженовской свиты и перекрывающих отложений. На основе анализа образцов в шлифах и с применением сканирующей электронной микроскопии изучены их микроструктура и микротекстура, а также формы нахождения минералов, включений, остатков скелетов организмов. Определены пиролитические параметры содержащегося в породах органического вещества.

3. С использованием модифицированного метода GRI, предназначенного для изучения низкопроницаемых отложений, определены емкостные свойства баженовских пород в состоянии естественной насыщенности и после экстракции.

4. Опираясь на особенности литологического состава баженовской свиты в изучаемом районе, выполнена стратификация ее разреза: выделены пачки и слои внутри них. На основе характеристик пород в физических полях составлены ГИС-образы пачек для межскважинной корреляции.

5. На основе рассчитанных значений отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, оцененных скоростей осадконакопления, распределения в породах оксидов кремния, алюминия, калия, титана, а также структурной карты по подошве баженовской свиты и карты толщин этих отложений, проанализированы условия формирования изучаемых пород в пределах территории исследования.

6. В результате комплексного анализа результатов аналитических исследований керна и материалов бурения, в том числе геолого-промысловых данных, оценены перспективы нефтеносности баженовской свиты в изученных разрезах.

7. Используя структурные и палеоструктурные построения, а также результаты литологического изучения разрезов, установлено влияние палеорельефа дна Западно-Сибирского моря и вторичных минеральных преобразований в диа- и катагенезе на емкостные свойства пород.

Научная новизна. В работе представлены результаты комплексного изучения состава пород, особенностей седиментации и коллекторских свойств баженовской свиты в пределах Малобалыкского, Западно-Малобалыкского месторождений и Южно-Тепловской площади. Для аналитических исследований использовался керн скважин, пробуренных в последние годы, что обеспечивает достоверность результатов химических анализов в связи с уменьшением воздействия процессов гипергенеза на изученный каменный материал.

1. Впервые с использованием метода GRI, модифицированного для высокоуглеродистой карбонатно-глинисто-кремнистой баженовской свиты, определены значения пористости слагающих ее пород. Установлено, что открытая пористость баженовской свиты в изученных разрезах изменяется от 0.6 до 11.3 %.

2. С использованием широкого комплекса современных аналитических методов для изученных разрезов определен состав баженовской свиты и перекрывающих отложений, установлены закономерности распределения по разрезу пиролитических параметров. Выполнено расчленение изученных разрезов на пачки и слои.

3. Оценены скорости осадконакопления каждой пачки баженовской свиты. Установлено, что их темпы седиментации были непостоянны и сильно изменялись во времени; максимальная скорость накопления осадков была во время накопления пачки 3 (вторая половина средней волги).

4. Впервые для изученной территории выявлено влияние палеорельефа морского дна на толщины, состав и коллекторские свойства баженовской свиты. Выделены «сводовый», «склоновый» и «погруженный» типы разрезов.

5. Впервые для изученных разрезов баженовской свиты установлено влияние процессов вторичных преобразований пород на их емкостные свойства. Показано, что растворение минеральной части пород существенно увеличивало объем порового пространства (до 11.3 %), которое впоследствии могло заполняться углеводородами. Доказано, что вторичное минералообразование приводило к значительному уменьшению фильтрационно-емкостных свойств пород вплоть до полного их исчезновения.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Комплексное изучение новых разрезов баженовской свиты позволило установить влияние локальных палеоструктурных факторов на накопление осадков в пределах территории исследования. Установлена сильная изменчивость коллекторских свойств баженовских пород даже в пределах 10 км, что связано с условиями их седиментации и вторичными преобразованиями в диа- и катагенезе.

Полученные в ходе работы результаты могут быть использованы для подсчета запасов нефти, оптимизации геологоразведочных работ и повышения эффективности разработки баженовской свиты на Малобалыкском и соседних с ним месторождениях.

Апробация результатов. Основные научные результаты по теме диссертации лично и в соавторстве опубликованы в четырех статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК и десяти научных трудах в сборниках и материалах конференций.

С 2015 г. автор диссертации занимался изучением геологического строения и перспектив нефтеносности баженовской свиты и ее возрастных аналогов в центральной и западной частях Ханты-Мансийского автономного округа. Полученные результаты докладывались на всероссийских конференциях и симпозиумах в Новосибирске (2016, 2017, 2019-2023), Москве (2017, 2022, 2023), Санкт-Петербурге (2018), Казани (2018), Томске (2018), Тюмени (2021). Основные результаты диссертации были представлены на четырех международных (Международная научная конференция Интерэкспо ГЕО-Сибирь "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология" (г. Новосибирск, 2022, 2023); Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем» (г. Москва, 2022); Международная научная студенческая конференция МНСК 2022 (г. Новосибирск, 2022)) и двух всероссийских (Всероссийская молодежная научная конференция с участием иностранных ученых «Трофимуксовские чтения – 2023» (г. Новосибирск, 2023); 2-я Всероссийская научная конференция с участием иностранных ученых, посвященная 120-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР Н.Б. Вассоевича и 95-летию со дня рождения заслуженного геолога РСФСР, проф. С.Г. Неручева, (г. Новосибирск, 2022)) конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, общим объемом 156 страниц, включая 49

рисунков, 6 таблиц и список литературы из 178 наименований.

Благодарности. За постановку проблемы, повседневное внимание, обсуждение результатов исследования, всестороннюю помощь при подготовке работы автор признателен своему научному руководителю – заместителю директора по научной работе ИНГГ СО РАН кандидату геолого-минералогических наук М.А. Фомину.

Автор признателен академику РАН А.Э. Конторовичу за критику и предложения, способствовавшие улучшению рукописи диссертации, а также за бесценные консультации по истории изучения такого сложного геологического объекта, как баженовская свита Западной Сибири.

За помощь в получении фактического материала автор выражает благодарность начальнику Управления лабораторных исследований ядра АО «ТомскНИПИнефть» к.т.н. А.Г. Скрипкину и ведущему специалисту отдела подсчета запасов Западно-Сибирской НПП Управления по геологии и подсчету запасов ООО «РН-БашНИПИнефть» Д.В. Фёдоровой. За возможность использования петрофизического оборудования автор признателен директору компании АО «Геологика» к.г.-м.н. С.В. Парначеву. За консультации при проведении лабораторных петрофизических исследований автор благодарен заведующему лабораторией петрофизики научно-лабораторного центра АО «Геологика» А.М. Горшкову, за помощь при выполнении экспериментов – инженерам С.Л. Медникову, Е.Д. Поджаровой и С.С. Семенову. За обучение методике петрографического анализа шлифов и консультации автор выражает благодарность старшему научному сотруднику лаборатории седиментологии к.г.-м.н. А.Г. Замирайловой. За качественно выполненные лабораторные исследования ядерного материала и помощь в пробоподготовке автор признателен специалистам ИНГГ СО РАН (к.г.-м.н. К.В. Долженко, И.Н. Серикову) и ИГМ СО РАН (к.т.н. Н.Г. Кармановой, Л.М. Горчуковой, И.М. Фоминых).

При подготовке работы автор пользовался консультациями специалистов ИНГГ СО РАН: д.г.-м.н., чл.-корр. РАН Л.М. Бурштейна, д.г.-м.н., чл.-корр. В.А. Каширцева, д.г.-м.н., чл.-корр. В.А. Конторовича, д.г.-м.н., чл.-корр. Б.Л. Никитенко и д.г.-м.н., чл.-корр. Б.Н. Шурыгина, д.г.-м.н. А.Н. Фомина, к.г.-м.н. Л.Г. Вакуленко, к.г.-м.н. В.А. Казаненкова, к.г.-м.н. Е.А. Костыревой, к.г.-м.н. С.В. Рыжковой, к.г.-м.н. П.И. Сафронова, к.г.-м.н. Е.А. Фурсенко, к.г.-м.н. П.А. Яна. Всем им за ценные советы и замечания автор выражает искреннюю признательность и благодарность.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В пределах Малобалыкского, Западно-Малобалыкского месторождений и на Южно-Тепловской площади разрез баженовской свиты разделяется на пять пачек. Основным пороодообразующим компонентом является кремнистый материал, максимальные концентрации которого установлены в средней части свиты. Верхняя часть разреза характеризуется повышенным и неравномерным содержанием в породах карбонатных минералов, что свидетельствует о смене кремнистой биогенной седиментации на кремнисто-карбонатную.

В изученных разрезах баженовская свита разделяется на пять пачек (рисунок 2). Основой для их выделения послужили литолого-стратиграфические принципы расчленения разреза, изложенные в работе [Панченко и др., 2016]. Для расчленения свиты на пачки использовались данные о литологическом составе пород, их структурные и текстурные особенности, наличие в породах остатков организмов, обнаруженных в процессе изучения шлифов и образцов на сканирующем электронном микроскопе, а также физические свойства пород, определенные по результатам интерпретации комплекса ГИС.

Анализ фактического материала показал, что нижняя часть разреза баженовской свиты (пачка 1) в пределах изучаемой территории представлена преимущественно микститами кероген-глинисто-кремнистыми. Основную массу пород первой пачки составляют кремнистый и глинистый материал, средние концентрации которых составляют 38.9 и 25.1 % соответственно (таблица 2). Содержание органического вещества в этом интервале в среднем составляет 11.0 %. В образцах наблюдаются обломки скелетов рыб, встречаются скелеты радиолярий и редкие цисты динофлагеллят. На каротажных диаграммах пачка 1 представлена более высокими относительно подстилающей абалакской свиты значениями удельного электрического сопротивления и естественной радиоактивности пород (рисунок 2).

Вторая пачка также сложена преимущественно микститами кероген-глинисто-кремнистыми. В этом интервале незначительно увеличивается содержание кремнистого вещества (до 42.4 %) и уменьшается количество глинистых минералов (до 24.2 %) (таблица 2). В породах пачки наблюдается увеличение содержания органического вещества и пирита, что находит свое отражение в росте значений естественной радиоактивности пород и уменьшению их плотностей

(рисунок 2). Перечисленные выше изменения состава позволяют выделить здесь силициты керогеновые и микститы кероген-кремнистые. Аналогично первой пачке в образцах повсеместно обнаружены обломки скелетов рыб, наблюдаются скелеты радиолярий и редкие диноцисты.

Таблица 2 - Среднее содержание основных породообразующих компонентов в разрезах изученных скважин.

Пачка	Слой	Кремнистый материал	Сумма глинистых минералов	Сумма карбонатных минералов	Полевые шпаты	Органическое вещество	Пирит	Апатит
5	c	13.4	22.5	17.3	8.1	19.4	18.2	1.2
	b	20.9	8.7	41.1	7.3	12.3	8.5	1.4
	a	41.2	14.1	8.8	8.0	17.4	9.8	0.6
4		51.6	11.6	1.3	8.1	18.2	8.9	0.4
3	b	74.1	9.2	1.1	3.6	7.5	3.9	0.5
	a	52.1	18.6	1.5	7.1	14.0	6.3	0.5
2		42.4	24.2	6.9	6.8	13.2	6.2	0.4
1		38.9	25.1	10.0	8.2	11.0	5.6	1.3

В верхней части первой пачки и центральной части второй пачки выделены маломощные прослои с повышенным содержанием карбонатного материала, связанным, по всей видимости, с замещением и заполнением скелетов радиолярий.

Третья пачка разделяется на два слоя: нижний сложен преимущественно силицитами керогеновыми, верхний - силицитами. В пачке зафиксировано максимальное для изученных разрезов содержание кремнистого материала (до 90 %) и минимальные концентрации глинистых минералов, полевых шпатов, органического вещества и пирита (таблица 2). Повышенное содержание кремнистого материала связано с наличием в породах скелетов радиолярий, содержание которых в образцах достигает 70 %. Вышеперечисленные особенности состава пород находят свое отражение в значениях физических параметров разреза: уменьшаются показания скоростей прохождения акустических

волн и естественной радиоактивности пород, увеличивается объемная плотность (рисунок 2).

В интервале четвертой пачки содержание кремнистой компоненты уменьшается, хотя она по-прежнему составляет основную массу породы (таблица 2). В этой части баженовской свиты зафиксировано повышенное среднее содержание органического вещества (18.2 %). Высокие концентрации кремнистого материала и органического вещества позволяют выделить здесь силициты керогеновые и микститы кероген-кремнистые. Радиоларии в интервале по-прежнему встречаются, однако их содержание в сравнении с третьей пачкой сильно уменьшается. Практически повсеместно зафиксированы обломки скелетов рыб, редкие известковистые диноцисты. На каротажных диаграммах пачка 4 отчетливо выделяется по крупному пику на кривой ГК и минимальным значениям объемной плотности (рисунок 2).

Самая неоднородная среди выделенных пачек – пятая, особенностью которой является повышенное и неравномерное содержание карбонатных минералов (до 78 %). Она разделена на три слоя: нижний – а, средний – б и верхний – с. Нижняя часть (слой 5а) представлена преимущественно микститами кероген-кремнистыми; основная масса породы сложена кремнистыми материалами, органическим веществом и в меньшей степени глинистыми минералами. В среднем слое (5б) наблюдаются максимальные для свиты концентрации карбонатного вещества (рисунок 2), уменьшается содержание кремнистого материала и глинистых минералов, а отличительной особенностью является наличие во многих образцах остатков кокколитофоридовых водорослей. Слой 5с завершает разрез баженовской свиты и является переходным уровнем к вышележащей подачимовской толще. В этом слое снижается содержание кремнистого материала, а концентрации глинистых минералов возрастают. Также в нем зафиксированы максимальные средние содержания органического вещества и пирита (таблица 2).

2. В пределах Малобалькского куполовидного поднятия седиментация в поздней юре-раннем мелу контролировалась палеорельефом морского дна, что предопределило формирование «сводового», «склонового» и «погруженного» типов разрезов баженовской свиты.

В результате детального изучения баженовской свиты в последнее десятилетие специалистами разных организаций было установлено влияние условий седиментации на состав пород и их коллекторские свойства [Немова и др., 2017; Хотылев и др., 2019; Фомина и др., 2021; Эдер и др., 2022 и др.].

Установлено, что в пределах территории исследования мощность баженовской свиты в среднем изменяется от 29 до 33 м (рисунок 3). Скважины М-1, М-2 и М-3 расположены рядом друг с другом, однако толщины баженовских отложений в этих разрезах существенно отличаются. В разрезе скважины М-2 их мощность составляет 25 метров, в скважинах М-1 и М-3 – 30 и 32 метра соответственно, причем увеличение толщин свиты в разрезе скважины М-1 в основном связано с «кокколитофоридовым» слоем преимущественно карбонатного состава. Из этого можно сделать вывод, что разрез баженовских отложений, вскрытый в скважине М-2 накапливался в приподнятой части палеодна; в скважине М-1 – на склоне палеоподнятия, и в скважине М-3 – у подножья этого поднятия вблизи локальной палеовпадины, в депоцентре которой толщины свиты достигают 35 метров. Сравнительный анализ результатов расчленения разрезов баженовской свиты в скважинах показал увеличение толщин практически всех выделенных пачек от скважины М-2 к М-1 и, далее, к М-3.

Скважина М-4 расположена в северо-западной части исследуемой территории на расстоянии около 15 км от Малобалыкского куполовидного поднятия. Мощности баженовских отложений в этой части территории выдержаны, а толщина свиты в разрезе этой скважины составляет 32.4 метра, что позволяет предположить, что осадконакопление происходило в глубокой и равнинной части палеодна.

Полученные результаты позволяют выделить на изучаемой территории три типа разреза, отличающихся друг от друга толщинами и составом: «сводовый» (разрез скважины М-2), «склоновый» (разрез скважины М-1) и «погруженный» (разрез скважины М-3).

3. Перспективы нефтеносности баженовской свиты в пределах Малобалыкского куполовидного поднятия связаны с силицитами-радиоляритами в средней части «склонового» типа разреза. Пустотное пространство этих пород сформировалось в результате растворения скелетов радиолярий и не было заполнено вторичными минеральными образованиями.

Выделение коллекторов в баженовской свите выполнено на основе комплексного анализа состава свиты, емкостных свойств пород, пиролитических параметров органического вещества, а также сведений о результатах испытаний на приток и данных ГИС. При выделении продуктивного интервала использованы признаки интервалов-коллекторов, указанных во временном методическом руководстве по подсчету запасов нефти в отложениях баженовской свиты [Временное методическое руководство..., 2017].

В интервале глубин 2937-2957 метров в разрезе скважины М-1 из баженовской свиты был получен приток нефти объемом 27 м³ (рисунок 2). Анализ результатов петрофизических исследований показал, что в слое b третьей пачки наблюдается увеличение открытой пористости до 11.3 % (рисунок 2). По результатам пиролиза были зафиксированы максимальные для всей баженовской свиты значения параметра S₁ (до 10.5 мг УВ/г породы). На основании перечисленных результатов в интервале глубин 2938.0-2940.3 м в пределах слоя 3b был выделен интервал-коллектор.

Подробное изучение проэкстрагированных образцов из этого интервала в шлифах позволило установить в них наличие скелетов радиолярий (до 30 %). В них наблюдается лишь контур скелетов, в то время как его внутренняя часть, как правило, отсутствует и не заполнена какими-либо минеральными компонентами, а также керогеном (рисунок 4). Таким образом, это пустотное пространство могло являться вмещителем для жидких углеводородов.

По данным геофизических исследований скважин слой 3b в скважинах М-2, М-3 и М-4 выглядит аналогично скважине М-1: он контрастно выделяется по минимальным для баженовской свиты значениям естественной радиоактивности, повышенной плотности, высоким значениям нейтронных методов каротажа, а также скоростей прохождений упругих продольной и поперечной волн. Состав слоя 3b в разрезах этих скважин также аналогичен скважине М-1: отмечается повышенное содержание кремнистой составляющей и пониженные концентрации глин, органического вещества и пирита. Однако несмотря на это в слое 3b указанных скважин, не было отмечено признаков коллектора. Установлено, что ухудшенные емкостные свойства образцов этого слоя связаны с процессами раскристаллизации скелетов радиолярий и вторичным заполнением их пустотного пространства глинисто-кремнистым материалом, карбонатными минералами, керогеном.

Анализ расположения скважин с испытаниями на приток в интервале баженовской свиты на карте ее толщин показал отсутствие промышленных притоков нефти в «сводовых» (скв. М-2, М-6, М-14) и «погруженных» (скв. М-3) типах разрезов баженовской свиты. Промышленная нефтеносность этих отложений установлена и подтверждается только в «склоновом» типе разреза (скв. М-1, М-15).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексного анализа результатов аналитических исследований кернового материала и геолого-промысловых данных определен состав баженовской свиты, изучены условия седиментации и влияние вторичных преобразований на емкостные свойства баженовских отложений, а также оценены перспективы их нефтеносности в пределах Малобалыкского и Западно-Малобалыкского месторождений и Южно-Тепловской площади.

Основные выводы и результаты:

1. Нижняя часть разреза баженовской свиты (пачки 1-2) в пределах изучаемой территории представлена преимущественно микститами кероген-глинисто-кремнистыми. Во второй пачке несколько увеличивается содержание органического и кремнистого вещества, в связи с чем здесь выделяются прослой микситов кероген-кремнистых и силицитов керогеновых. Средняя часть разреза (пачка 3) представлена силицитами и силицитами керогеновыми. В ней наблюдается наибольшее для баженовской свиты содержание кремнистого материала, связанного с наличием в породах большого количества скелетов радиолярий (до 70 %), а также минимальные концентрации глинистых и карбонатных минералов, органического вещества и пирита. Четвертая пачка также сложена преимущественно силицитами керогеновыми, но в образцах уменьшается содержание кремнистой компоненты и возрастает содержание органического вещества. Особенностью верхней части разреза (пачка 5) является повышенное и неравномерное содержание карбонатных минералов. Здесь встречаются микститы керогеновые, кероген-карбонатно-кремнистые, кероген-кремнисто-карбонатные, кремнисто-глинисто-карбонатные, карбонатно-кремнистые, кероген-карбонатные, а также карбонаты (в том числе керогеновые). Выше по разрезу увеличивается содержание глинистых минералов (слой 5с и подачимовская толща сортымской свиты), в связи с чем среди

литологических разностей выделяются преимущественно микститы глинистые и аргиллиты.

2. Палеорельеф дна в конце юры – начале мела оказал влияние на процессы осадконакопления в пределах изучаемого района, что нашло свое отражение в мощностях пачек баженовской свиты и их составе. Выделены «сводовый», «склоновый» и «погруженный» типы разрезов баженовской свиты.

3. Перспективы нефтеносности баженовской свиты в пределах Малобалыкского куполовидного поднятия связаны с силицитами-радиоляритами в средней части «склонового» типа разреза. Нефтенасыщенное пустотное пространство внутри этого интервала связано со скелетами радиолярий, внутренняя часть которых подверглась растворению щелочными растворами и не была заполнена в процессе диа- и катагенеза вторичными минеральными компонентами.

4. В разрезах скважин М-2, М-3 и М-4 вторичные изменения привели к значительному ухудшению вплоть до практически полного исчезновения емкостных свойств силицитов-радиоляритов в центральной части разреза. В отличие от разреза скважины М-1 остатки радиолярий в указанных скважинах раскристаллизованы, а их пустотное пространство заполнено кремнистым веществом, карбонатными минералами и керогеном.

5. Материалы ГИС, включающие в себя электрические, электромагнитные, радиоактивные и акустические виды каротажа могут использоваться только для выделения потенциально продуктивных интервалов в разрезе баженовской свиты.

Перспективы дальнейшей разработки этой научной тематики связаны с комплексным изучением новых разрезов баженовской свиты в пределах Малобалыкского куполовидного поднятия с целью уточнения полученных результатов, а также на других тектонических элементах Западно-Сибирской геосинеклизы. Выявленные в диссертационной работе закономерности локализации коллекторов баженовской свиты могут быть использованы для планирования дальнейших геолого-разведочных работ, прогноза нефтеносности и подсчета запасов нефти в этих отложениях на соседних месторождениях и площадях в пределах Мансийской синеклизы.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

1. Фомин, М.А. Литологический состав и перспективы нефтеносности баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы / М.А. Фомин, **Р.М. Саитов**, А.Г. Замирайлова // Георесурсы. – 2023. – № 4. – С. 1-30.
2. Горшков, А.М. Методика определения пористости и насыщенности сланцевых пород на дезинтегрированном керне / А.М. Горшков, **Р.М. Саитов** // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 6-12.
3. Фомин, М.А. Прогноз литологического состава баженовской свиты на основе комплексной интерпретации геологических и геофизических материалов / М.А. Фомин, Е.А. Костырева, С.В. Рыжкова, **Р.М. Саитов**, И.С. Сотнич, В.Г. Эдер // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 1. – С. 154-167.
4. Фомин, М.А. Типы разрезов и перспективы нефтеносности баженовской свиты в Надым-Обском междуречье / М.А. Фомин, **Р.М. Саитов** // Георесурсы. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 2-11.

В других изданиях:

1. **Саитов, Р.М.** Палеогеография баженовской свиты в пределах Малобалыкской группы месторождений / Р.М. Саитов // Трофимукские чтения – 2023: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых (г. Новосибирск, 2-7 октября 2023 г.). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. – С. 256-260.
2. **Саитов, Р.М.** Обоснование интервала-коллектора в разрезах баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы (Западная Сибирь) / **Р.М. Саитов**, М.А. Фомин, А.Г. Замирайлова, И.С. Сотнич // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – XIX Международный научный конгресс. Международная научная конференция "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 8 т. (г. Новосибирск, 17-19 мая 2023 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2023. – Т. 2, № 2. – С. 216-224.

3. Фомин, М.А. Литология баженовской свиты на Малобалыкском месторождении и соседних площадях (ХМАО, Западная Сибирь) / М.А. Фомин, А.Г. Замирайлова, **Р.М. Саитов** // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – XIX Международный научный конгресс. Международная научная конференция "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 8 т. (г. Новосибирск, 17-19 мая 2023 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2023. – Т. 2, № 2. – С. 273-283.
4. Фомин, М.А. Литологический состав баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы / М.А. Фомин, А.Г. Замирайлова, **Р.М. Саитов** // Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность - 2023: Сборник научных трудов (по материалам Международной научно-практической конференции) (г. Москва, 25-26 мая 2023 г.) – М.: Перо, 2023. – С. 342-346.
5. **Саитов, Р.М.** Определение пористости образцов баженовской свиты методом GRI на примере одной из скважин Малобалыкского месторождения / **Р.М. Саитов** // Геология: Материалы 60-й Международной научной студенческой конференции (МНСК-2022) (г. Новосибирск, 10-20 апреля 2022 года). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2022. – С. 91-91.
6. **Саитов, Р.М.** Методические аспекты определения пористости и насыщенности порового пространства ядра баженовской свиты / **Р.М. Саитов**, А.М. Горшков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVIII международной научной конференции (г. Новосибирск, 18-20 мая 2022 г.). – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2022. – Т. 2, № 1. – С. 90-97.
7. Фомин, М.А. Пиролитические характеристики органического и химический состав пород баженовской на Малобалыкской площади / М.А. Фомин, **Р.М. Саитов**, И.С. Сотнич // Успехи органической геохимии: Материалы 2-й Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых, посв. 120-летию со дня рожд. чл.-корр. АН СССР Н.Б. Вассоевича и 95-летию со дня рожд. засл. геолога РСФСР, проф. С.Г. Неручева (г. Новосибирск, 5-6 апреля 2022 г.). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2022. – С. 284-287.
8. **Саитов, Р.М.** Методологические приемы к прогнозу минерально-компонентного состава баженовской свиты на основе связей

"КЕРН-ГИС" / **Р.М. Сайтов**, М.А. Фомин, Е.А. Костырева, С.В. Рыжкова, И.С. Сотнич, В.Г. Эдер // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVII международной научной конференции (г. Новосибирск, 19-21 мая 2021 г.). – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2021. – Т. 2, № 1. – С. 236-245.

9. **Сайтов, Р.М.** Перспективы нефтеносности баженовской свиты в центральной части Широкого Приобья / Р.М. Сайтов // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири: Материалы 2-й Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов, посвященной 85-летию акад. А.Э. Конторовича (г. Новосибирск, 12-13 марта 2019 г.). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. – С. 119-122.

10. **Сайтов, Р.М.** Геологическое строение баженовской свиты и ее аналогов западной части Западно-Сибирской геосинеклизы / Р.М. Сайтов // Материалы 54-й международной научной студенческой конференции МНСК-2016 (г. Новосибирск, 16-20 апреля 2016 г.): Геология. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. – С. 117-117.



Рисунок 1 - Обзорная карта исследуемой территории.

Условные обозначения: 1 – скважины с аналитическими исследованиями, используемые в работе; 2 – скважина, с изученным ранее в ИНГГ СО РАН разрезом баженовской свиты [Эдер и др., 2022]; 3 - залежи нефти в баженовской свите, стоящие на государственном балансе; 4 – граница между абалакской и георгиевской свитами [Рыжкова и др., 2020]; 5 – административная граница; 6 - границы положительных тектонических элементов III порядка (Малобалькского куполовидного поднятия в центре и Северо-Салымского вала на северо-западе) [Конторович и др., 2001].

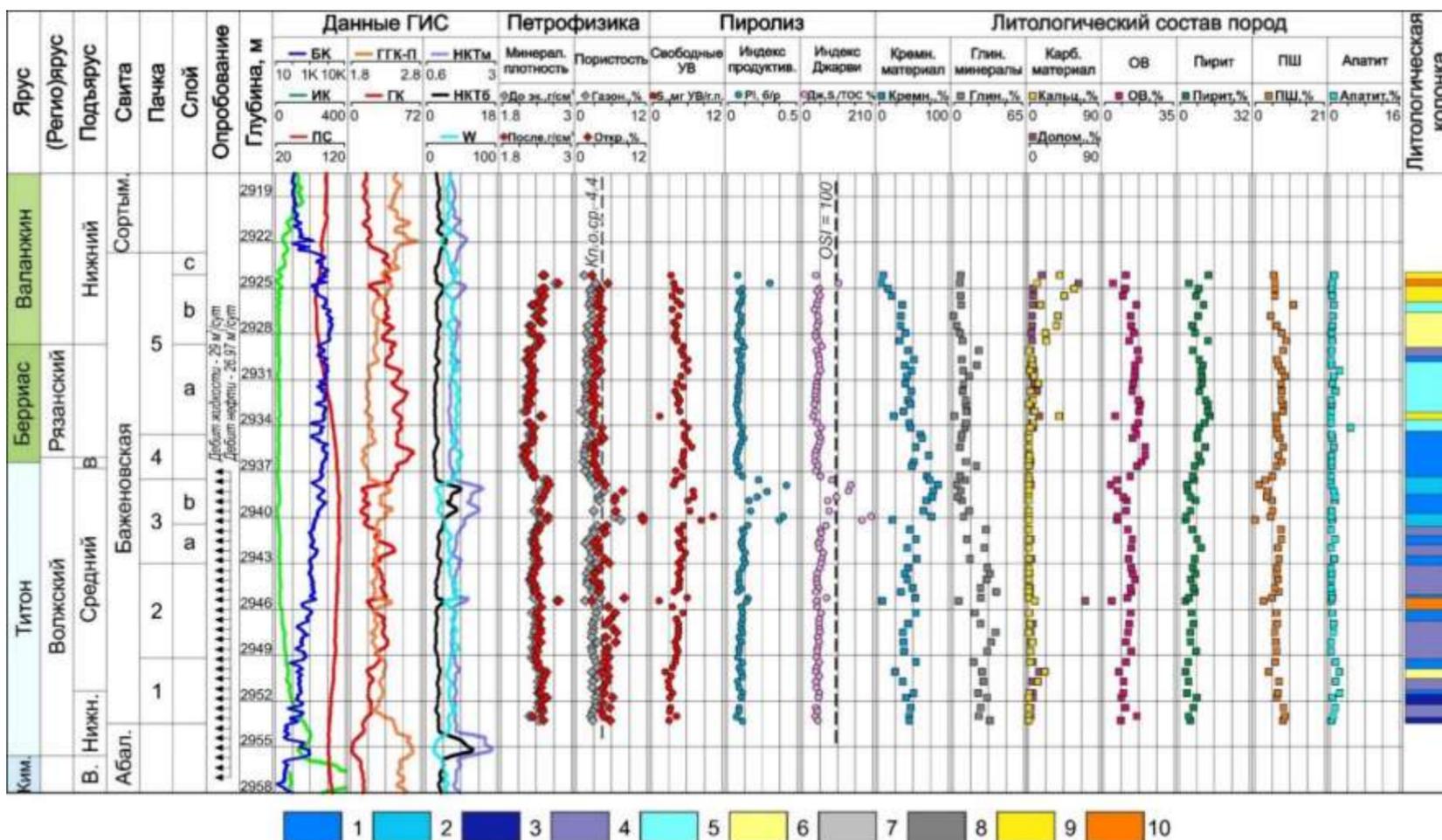


Рисунок 2 - Геолого-геофизический планшет разреза скважины М-1 [Фомин и др., 2023].

Условные обозначения: 1 - силициты керогеновые, силициты кероген-глинистые; 2 – силициты; 3 – микситы глинисто-кремнистые; 4 – микситы кероген-глинисто-кремнистые, глинисто-кремнистые; 5 – микситы кероген-кремнистые; 6 – микситы кероген-карбонатно-кремнистые, кероген-кремнисто-карбонатные, кремнисто-глинисто-карбонатные, карбонатно-кремнистые, кероген-карбонатные, карбонатные; 7 - микситы глинистые, кероген-глинистые, кремнисто-глинистые, кероген-кремнисто-глинистые; 8 - аргиллиты, в т.ч. керогеновые; 9 – карбонаты, в т.ч. керогеновые; 10 – доломиты. Возраст пачек указан по [Панченко и др., 2016; Эдер и др., 2022].

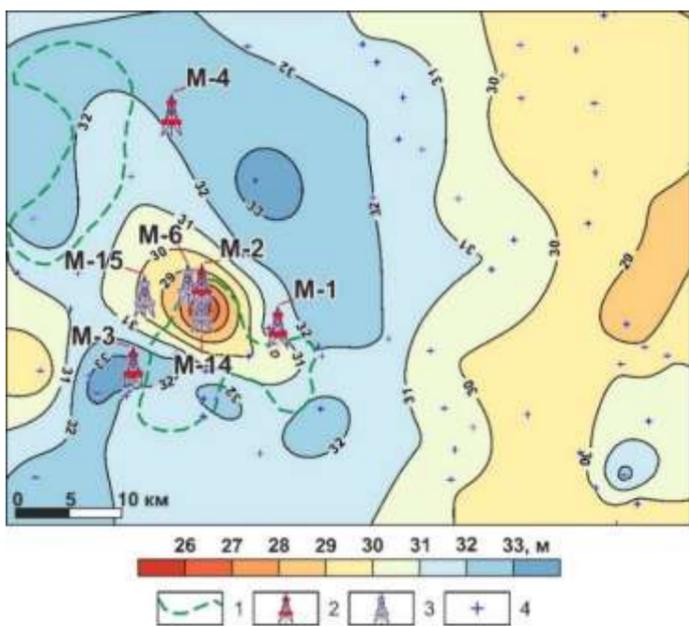


Рисунок 3 - Карта толщин баженовской свиты [Саитов, 2023].

Условные обозначения: 1 – контуры положительных тектонических элементов III порядка [Конторович и др., 2001]; 2 – скважины с аналитическими исследованиями, используемые в работе; 3 – пробуренные в разные годы скважины с испытаниями в интервале баженовской свиты; 4 – материалы скважин, используемых в картопостроении.

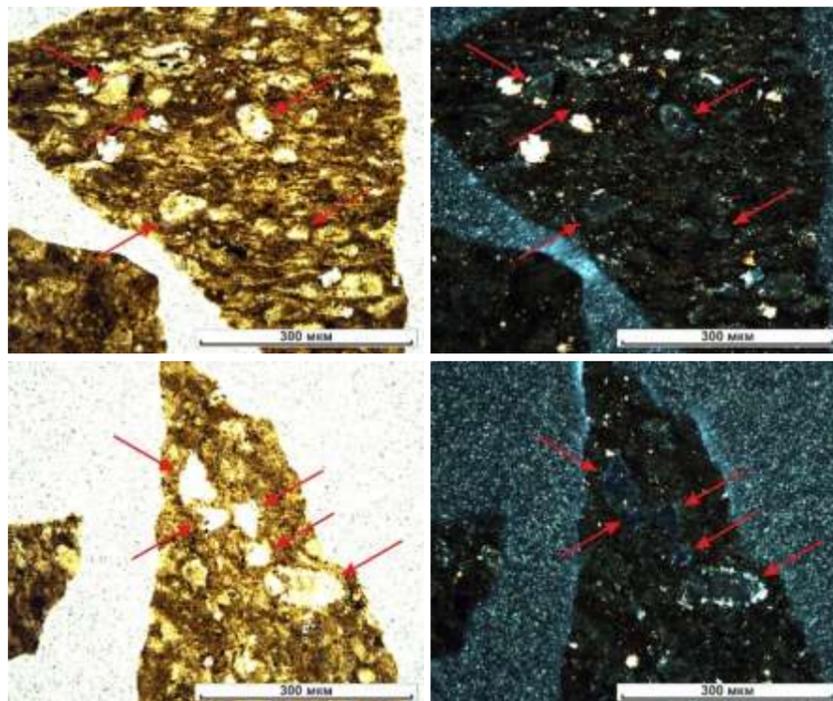


Рисунок 4 - Скелеты радиолярий с растворенным внутренним пространством (показаны стрелочками) в образцах с максимальными значениями пористости (слева – николи параллельны, справа – николи скрещены) (скважина М-1, глубина 2940.14 м) [Фомин и др., 2023].