

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ  
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
ИМ. А.А. ТРОФИМУКА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

*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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель  
Фомин Михаил Александрович  
кандидат геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК  
2023

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	2
ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МАНСИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ .....	15
1.1. Стратиграфия и литология верхнеюрско-нижнемеловых отложений.....	15
1.2. Тектоническое строение .....	34
1.3. Нефтеносность баженовской свиты .....	38
ГЛАВА 2. ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ...	51
ГЛАВА 3. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ .....	59
ГЛАВА 4. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ .....	91
4.1. Некоторые аспекты седиментогенеза .....	92
4.2. Влияние палеорельефа на формирование баженовской свиты .....	102
ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ...	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	126
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	128
СПИСОК РИСУНКОВ.....	153
СПИСОК ТАБЛИЦ .....	156

## ВВЕДЕНИЕ

**Объектом исследования** являются разрезы баженовской свиты, вскрытые скважинами в пределах Малобалыкского, Западно-Малобалыкского месторождений и на Южно-Тепловской площади, расположенной к северу от них. 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.

На ранних этапах изучения баженовской свиты большой вклад в понимание ее геологического строения и условий образования внесли многие специалисты ведущих геологических организаций страны. Вопросами органической геохимии занимались: Ф.Г. Гулари, В.А. Успенский, И.И. Нестеров, А.Э. Конторович, Н.Б. Вассоевич, С.Г. Неручев, Г.М. Парпарова, Е.А. Рогозина, Г.П. Сверчков и другие. Большой вклад в изучение литологии и палеогеографии баженовской свиты внесли Ю.В. Бладучан, Е.А. Гайдебурова, А.В. Гольберт, Т.И. Гурова, Т.В. Дорофеева, О.Г. Зарипов, В.П. Казаринов, А.Э. Конторович, И.И. Нестеров, Г.Э. Прозорович, Л.В. Ровнина, И.Н. Ушатинский, С.И. Филина и др. Вопросы нефтеносности, типа и природы пустотного пространства баженовской свиты были рассмотрены в работах: Ф.Г. Гулари, А.Э. Конторовича, И.И. Нестерова, Г.Р. Новикова, Ф.К. Салманова, А.А. Трофимука, А.В. Тяна, Е.А. Гайдебуровой, И.Ф. Гулари, Ю.В. Желтова, Т.В. Дорофеевой, Ю.Н. Карогодина, М.Ф. Свищева, Г.М. Таруца, И.Н. Ушатинского и др.

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, Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова, 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 (Е.Е. Оксенойд, Е.В. Олейник, В.А. Волков), 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 нефтегенеза 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. 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, Сайтов, 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.

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 (БК – боковой каротаж, БКЗ (зонды Gz1, Gz2, Gz3, Gz4), ПС – потенциал самопроизвольной поляризации, МБК, МПЗ, МГЗ – микрозонды, PZ – потенциал зонд), радиоактивного (ГК – гамма-каротаж, НГК – нейтронный гамма-каротаж, НКТб и НКТм – нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (большой и малый зонды), ГГК-П – гамма-гамма плотностной каротаж, W – кривая водородосодержания, рассчитанная от значений нейтронных методов каротажа) и электромагнитного (ИК – индукционный каротаж, ВИКИЗ) каротажа, а также каверномером. 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. Оформление графических приложений и рисунков проводилось с помощью программного пакета CorelDRAW. Для создания различных баз данных использовалась программа для работы с электронными таблицами MS Excel.

**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

керн; 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 керн 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 керн 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 «сводовой», «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.

#### **Защищаемые положения и результаты:**

1. В пределах Малобалыкского, Западно-Малобалыкского месторождений и на Южно-Тепловской площади разрез баженовской свиты разделяется на пять пачек. Основным породообразующим 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.

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

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.

**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 «Трофимуковские 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 керна АО «ТомскНИПИнефть» к.т.н. А.Г. Скрипкину и ведущему специалисту отдела подсчета запасов Западно-Сибирской НГП 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

кернового 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.

# ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МАНСИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

## 1.1. Стратиграфия и литология верхнеюрско-нижнемеловых отложений

Баженовская свита является хорошо известным геологическим репером в мезозойской толще Западно-Сибирского осадочного бассейна [Стратиграфия нефтегазоносных..., 2000]. Свита получила название по с. Баженово, расположенному на левом берегу Иртыша к северо-западу от Омска [Брадучан и др., 1986]. В качестве самостоятельной стратиграфической единицы в ранге баженовской пачки в составе марьяновской свиты впервые была выделена Ф.Г. Гурари в 1959 г. На Межведомственном стратиграфическом совещании в г. Тюмени в 1967 г. баженовская пачка была переведена в ранг свиты [Сургутский нефтеносный..., 1968].

В пределах изучаемой территории баженовская свита распространена во Фроловско-Тамбейском фациальном районе Обь-Ленской фациальной области (Рисунок 1 – Фрагмент схемы фациального районирования келловоя и верхней юры Западной Сибири [Решение..., 2004].

Условные обозначения: 1 – границы фациальных районов; 2 – граница между абалакской и георгиевской свитами по [Рыжкова и др., 2018, 2020]; 3 – административная граница; 4 – скважины с аналитическими исследованиями керна, используемые в работе; 5 – границы исследуемой территории.

). Стратиграфический объем свиты долгое время определялся как волга (без части нижнего подъяруса) – низы берриаса [Решение..., 2004] (Рисунок 2), однако еще в восьмидесятых годах двадцатого века [Ровнина и др., 1980; Ровнина, 1986] впервые было показано, что возраст баженовской свиты непостоянен и изменяется по латерали. В работах последних лет он принимается в объеме низов нижней волги – низов нижнего валанжина [Панченко и др, 2016, 2021].

В работе Эдер В.Г. с соавторами [2022] исследователи, проведя анализ определений макрофауны из разрезов баженовской свиты, расположенных в разных частях Западно-Сибирского осадочного бассейна, подтверждают полихронность верхней границы свиты. Однако на площадях в пределах Мансийской синеклизы, где находятся изученные автором диссертации разрезы,

убедительно доказано, что возраст баженовской свиты следует принимать как ранневолжско-ранневаланжинский [Эдер и др., 2022].

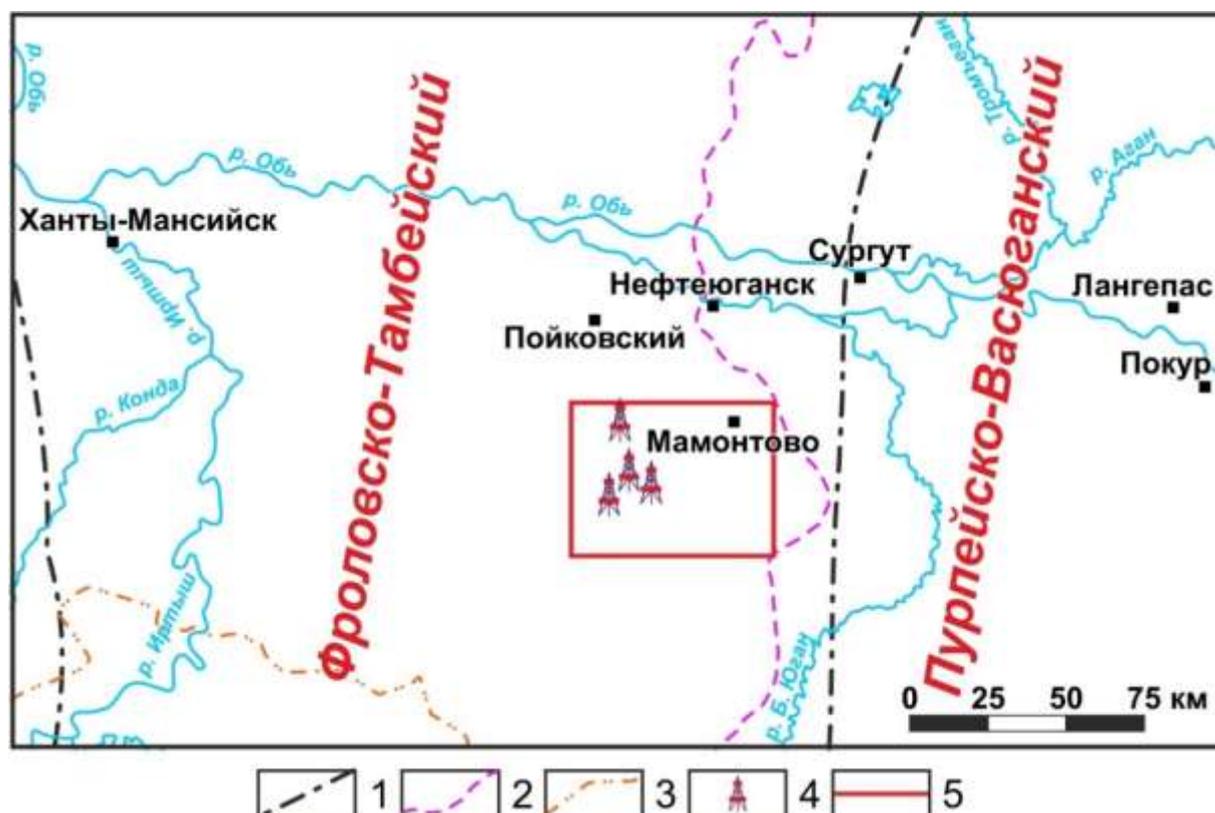


Рисунок 1 – Фрагмент схемы фациального районирования келловоя и верхней юры Западной Сибири [Решение..., 2004].

Условные обозначения: 1 – границы фациальных районов; 2 – граница между абалакской и георгиевской свитами по [Рыжкова и др., 2018, 2020]; 3 – административная граница; 4 – скважины с аналитическими исследованиями керна, используемые в работе; 5 – границы исследуемой территории.

Еще на ранних этапах изучения баженовских отложений основной вклад в изучение особенностей их геологии, вещественного состава и палеогеографии внесли Т.И. Гурова [Гурова, 1960; Гурова, Казаринов, 1962], А.Э. Конторович [Конторович и др., 1967], А.В Гольберт [Гольберт и др., 1968], Н.Б. Вассоевич [Вассоевич, 1973], М.С. Зонн [Зонн, 1980], Ф.Г. Гурари [Гурари, 1981], И.Н. Ушатинский [Ушатинский, 1981], Т.В. Дорофеева [Дорофеева и др., 1983], С.И. Филина [Филина и др., 1984], В.П. Казаринов [Казаринов, 1985], И.И. Нестеров [Нестеров и др., 1988] и др. Значительный вклад в изучение биостратиграфии юры и мела внесли результаты С.П. Булыниковой

[Булынникова, 1973; Булынникова и др., 1978], А.Э. Конторовича [Конторович А.Э. и др., 2013, 2014, 2019], А.В. Гольберта, Ю.В. Бладучана [Бладучан, Лебедев, 1979; Бладучан и др., 1986], Б.Н. Шурыгина [Шурыгин и др., 2000; Шурыгин, Дзюба, 2015], В.А. Маринова [Маринов и др., 2006; Маринов и др., 2009], В.А. Захарова [Захаров и др., 1999; Захаров, 2006].

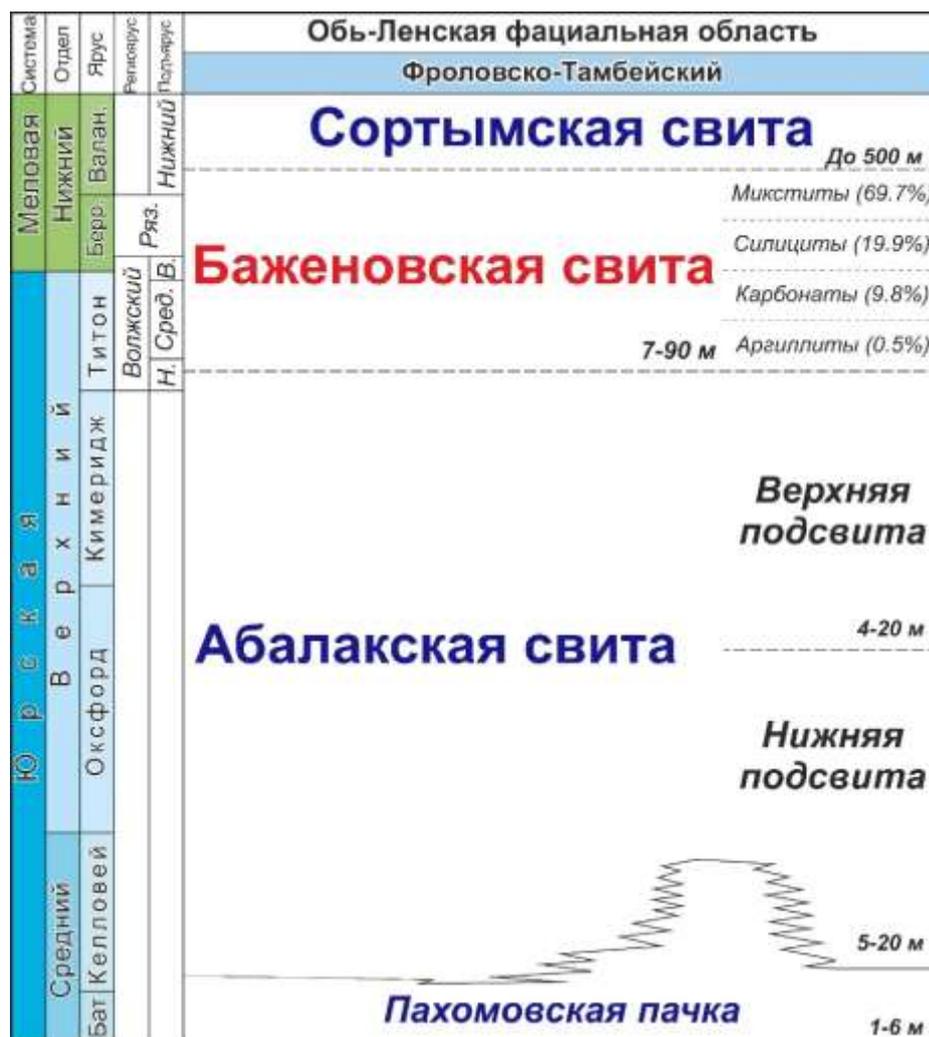


Рисунок 2 – Фрагмент корреляционной региональной стратиграфической схемы келловей и верхней юры Западной Сибири [Решение..., 2004] с изменениями по [Панченко и др., 2016].

Позднее, значительно увеличилось количество исследований, которыми занимались Н.С. Балущкина [Балущкина, 2011], О.А. Важенина [Важенина, 2010], Е.А. Предтеченская [Предтеченская и др., 2006], А.Г. Замирайлова [Замирайлова и др., 2000], Ю.Н. Занин [Занин и др., 1999; Занин и др., 2000; Занин и др., 2008], М.Ю. Зубков [Зубков, Мормышев, 1987], Г.А. Калмыков [Калмыков, Балущкина,

2017], Т.А. Коровина [Коровина, 2004], Е.А. Костырева, В.Т. Литвин [Литвин и др., 2015], А.Г. Мухер [Мухер и др., 2013], В.Д. Немова [Немова, 2012; Немова, Панченко, 2017; Немова, 2019], Е.Е. Оксенойд [Оксенойд, 2018а; Оксенойд, 2018б], И.В. Панченко [Панченко и др., 2015; Панченко и др., 2016; Панченко и др., 2021], В.Г. Эдер [Эдер, 2002; Эдер и др., 2015, 2016, 2017, 2019, 2022], и др.

### *Литологический состав баженовской свиты*

Изначально считалось, что баженовская свита сложена обогащенными органическим веществом аргиллитами [Салымский..., 1970]. Однако при углубленном изучении этого уникального природного объекта стало очевидно, что свита имеет сложный литологический состав и является продуктом преимущественно биогенной седиментации [Гурари и др., 1963; Атлас..., 1968, Атлас..., 1976; Конторович и др., 1971; Захаров, Сакс, 1983]. Еще на ранних этапах исследователи обратили внимание на необходимость учета органического вещества как порообразующего компонента [Вассоевич, 1973; Конторович и др., 1975; Конторович, 1976]. Позднее были получены сведения о карбонатно-глинисто-кремнистом составе пород [Ушатинский, 1981; Филина и др., 1984; Зубков, Мормышев, 1987; Условия..., 1988; Сараев, 1987; Занин и др., 1999; Эдер, 2002]. Тем не менее в связи с отсутствием систематического изучения этих отложений и редкого шага отбора образцов на аналитические исследования, долгое время общепринятым оставалось мнение, что свита представлена битуминозными аргиллитами (черными с коричневатым оттенком, массивными, плитчатыми, листоватыми, с прослоями радиоляритов, глинистых известняков, остатками морских фоссилий) [Решение..., 2004].

Одним из наиболее значимых научных трудов в области изучения состава пород баженовской свиты стала работа коллектива авторов Института нефтегазовой геологии и геофизики имени академика А.А. Трофимука (ИНГГ СО РАН), основанная на материалах комплексного изучения баженовской свиты в различных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна в 2012-2016 г. В

результате аналитических определений химического и минералогического состава было установлено, что основными породообразующими компонентами являются кремнезем, глинистые и карбонатные минералы, а также органическое вещество, которые в большинстве случаев в сумме составляют более 75 мас. %. В породах также наблюдаются сравнительно высокие концентрации пирита; встречаются апатит, барит, элементарная сера и некоторые другие второстепенные компоненты [Конторович и др., 2016].

Основным источником кремнезема являлись, главным образом, радиолярии. Причиной их стремительного развития в Западно-Сибирском бассейне в волжско-ранневаланжинское время способствовали оптимальные гидрологические (сравнительно высокая температура, стандартная плотность, спокойная динамика, прозрачность вод), гидрохимические (нормальная соленость, высокое содержание биофильных элементов и растворенного кремния, насыщенность растворенными газами, прежде всего кислородом), экотопные (эвтрофность, высокий трофический статус) факторы среды и наличие свободных экологических ниш [Амон и др., 2021]. Доля привнесенного терригенного кварца в свите небольшая и только на окраинах бассейна превышает 5-10 %. Основной объем карбонатного вещества также является биогенным, источником которого служили остатки кокколитофорид, двустворчатых моллюсков, аммонитов, цист динофлагеллят, фораминиферы и др. Единственной абиогенной составляющей среди основных породообразующих компонентов свиты является глинистый материал, поступающий в бассейн в виде взвеси и коллоидных растворов. Стоит отметить, что концентрации как растворенных в морской воде соединений кремния и кальция, так и глинистой компоненты, были непостоянными, что может быть связано с заливообразным характером Западно-Сибирского моря и различным составом и количеством поступающего с суши материала [Конторович и др., 2013]. Органическое вещество Западно-Сибирского осадочного бассейна аквагенное; состав углеводов биомаркеров однозначно указывает на их генетическую

связь с липидами и липоидами бактерий, архей и простейших эукариотов, обитавших в морском бассейне и его осадках [Конторович и др., 2013, 2019].

Отдельно стоит отметить, что баженовская свита богата различными микроэлементами (редкоземельные элементы, никель, молибден, кобальт, уран, цинк, стронций, барий, мышьяк, тербий, ванадий, хром, медь, драгоценные металлы и др.), изучением которых занимались Ю.Н. Занин, Л.П. Рихванов, С.А. Пунанова, В.Л. Шустер, В.Г. Сахно и другие исследователи. Согласно исследованиям [Геохимия..., 1966; Ушатицкий, 1981], в баженовской свите зафиксированы повышенные содержания молибдена, урана, ванадия, хрома, кобальта, никеля, меди, бария, цинка и мышьяка в сравнении с подстилающими и перекрывающими отложениями. Ю.Н. Заниным с соавторами было установлено, что основными факторами, влияющими на концентрацию в породах баженовской свиты редкоземельных элементов, являются состав пород, темпы седиментации, окислительно-восстановительный потенциал обстановок формирования отложений (в меньшей степени). Также авторами было показано, что апатит и глинистые минералы более активно накапливают редкоземельные элементы, чем ОВ и пирит. Проведенный анализ данных по средним концентрациям редкоземельных элементов показал существенные различия не только между отдельными литологическими типами пород, но также между территориями в пределах одного бассейна [Занин и др., 2011, 2016]. Повышенное относительно среднемирового содержание никеля, молибдена и кобальта для черносланцевой баженовской свиты отмечено Ю.Н. Заниным с соавторами [Занин и др., 2017]. Была установлена тесная взаимосвязь между содержанием молибдена и никеля, а также этих элементов с содержанием органического углерода и пирита. На основе комплексного исследования В.П. Рихванов с соавторами показали, что в сравнении со средними данными для черносланцевых пород мира баженовские отложения содержат в 3 раза больше урана, цинка, стронция, бария, и в 1.5 раза – мышьяка, кобальта и тербия. Авторами установлено, что ряд элементов (U, Zn, Sr, Ba, As) находятся в тесной связи с органическим веществом свиты. Согласно

исследованию, железо, сера, цинк, барий, стронций, мышьяк, сурьма, уран и редкоземельные элементы во многих случаях образуют собственные минеральные формы (некоторые из них различной морфологии) [Рихванов и др., 2015]. В.Г. Сахно с соавторами зафиксировали в баженовской свите повышенные концентрации драгоценных и редких металлов, причем их количество может быть промышленно значимым [Сахно и др., 2020].

### *Классификации пород баженовской свиты*

Для структурирования результатов изучения состава образцов керна баженовской свиты необходимы разработка и применение классификаций пород. Различные их вариации в разные годы были предложены Т.И. Гуровой, В.П. Казариновым [Гурова, Казаринов, 1962], И.Н. Ушатинским [Ушатинский, 1981; Ушатинский, 1989], Т.В. Дорофеевой [Дорофеева и др., 1983], С.И. Филиной [Филина и др., 1984], С.В. Сараевым [Сараев, 1987], М.Ю. Зубковым [Зубков, Мормышев, 1987; Зубков, 2016], Ю.Н. Заниным [Занин и др., 1999; Занин и др., 2005], В. Г. Эдер [Эдер, 2002], А.Е. Гавриловым [Гаврилов и др., 2015], А.Э. Конторовичем [Конторович и др., 2016], Г.А. Калмыковым и Н.С. Балускиной [Калмыков, Балускина, 2017], В.Д. Немовой [Немова, 2019]. В настоящей работе для обозначения литологических типов пород была использована классификация А.Э. Конторовича с соавторами [2016], в которой авторами были выделены 4 основных класса пород, разделенных на 16 подклассов (Таблица 1) по соотношению основных породообразующих компонентов (кремнезем, глинистые и карбонатные минералы, органическое вещество). Было установлено, что наиболее распространенными породами в баженовской свиты являются кремнисто-глинистые, кероген-кремнистые, кероген-глинисто-кремнистые микститы и керогеновые силициты, в совокупности, составляющие около 65 % общей выборки образцов (см. Таблица 1).

В класс силицитов выделены породы баженовской свиты, в которых содержание минералов кремнезема более 50 %. Они составляют около 20 % от

рассматриваемой выборки образцов (см. Таблица 1). По концентрации органического вещества они разделяются на собственно силициты и керогеновые силициты, имеющие примерно равную распространенность с небольшим преобладанием последних (8.1 и 11.9 % соответственно) [Конторович и др., 2016].

Таблица 1 – Классификация пород баженовской свиты (составлена автором на основе данных, изложенных в статье [Конторович и др., 2016]).

<b>Свита</b>	<b>Класс пород</b>	<b>Подкласс пород</b>
<b>Баженовская</b>	Силициты (19.9 %)	<i>Силициты (8.1 %)</i>
		<i>Силициты керогеновые (11.9 %)</i>
	Аргиллиты (0.5 %)	<i>Аргиллиты кремнистые (0.5 %)</i>
	Карбонаты (9.8 %)	<i>Карбонаты (8.8 %)</i>
		<i>Карбонаты керогеновые (1.0 %)</i>
	Микститы (69.7 %)	<i>Кремнистые (1.8 %)</i>
		<i>Глинистые (1.0 %)</i>
		<i>Карбонатные и карбонатно-глинистые (1.0 %)</i>
		<i>Керогеновые (1.3 %)</i>
		<i>Кремнисто-глинистые (19.7 %)</i>
		<i>Карбонатно-кремнистые (1.0 %)</i>
		<i>Кероген-кремнистые (17.9 %)</i>
		<i>Кероген-глинистые (1.8 %)</i>
		<i>Кероген-карбонатные (6.3 %)</i>
		<i>Кероген-глинисто-кремнистые (14.9 %)</i>
<i>Кероген-кремнисто-карбонатные (3.0 %)</i>		

К классу аргиллитов относятся породы с содержанием глинистых минералов (сумма) более 50 %. В рассматриваемой выборке он оказался самым малочисленным (встречаемость около 0.5 %) и объединяет образцы с очень низкими вариациями компонентного состава. Зафиксированное содержание

глинистых минералов (сумма) составляет 51.5 – 51.6 %. По содержанию кремнистого материала аргиллиты кремнистые (29.1 – 29.2 %).

Класс карбонатных пород (карбонатов) объединяет породы с содержанием карбонатных минералов (преимущественно кальцит, реже доломит) не менее 50 %. В изученной выборке частота встречаемости карбонатов составляет 9.8 %. В их составе по содержанию органического вещества выделены два подкласса: собственно карбонаты («чистые», встречаемость 8.8 %) и малочисленный подкласс керогеновых карбонатов (встречаемость 1 %) [Конторович и др., 2016].

В крупный класс микститов выделены породы, в которых содержание ни одного из компонентов не достигает 50 %. Он является самым многочисленным (около 70 % от изученной выборки) и самым разнообразным по составу минеральных компонентов. По соотношению породообразующих компонентов выделены одиннадцать подклассов (см. Таблица 1), которые по количеству преобладающих групп минералов с содержанием от 25 до 50 % можно условно разделить на однокомпонентные (кремнистые, глинистые, карбонатные), двухкомпонентные (кремнистоглинистые, кремнисто-карбонатные, кероген-кремнистые, кероген-глинистые и кероген-карбонатные) и трехкомпонентные (кероген-глинисто-кремнистые и кероген-кремнисто-карбонатные) микститы. Более двух третей образцов пород этого класса относятся к трем подклассам из одиннадцати: кремнисто-глинистым (19.7 % от общей выборки), кероген-кремнистым (17.9 % от выборки) и кероген-глинисто-кремнистым (14.9 % от выборки) микститам [Конторович и др., 2016]. Именно в соответствии с этой классификацией были присвоены названия литотипам баженовской свиты в изученных автором разрезах.

Как упоминалось ранее, классификации пород баженовской свиты на основе новейших результатов аналитических исследований керна составлялись и в других коллективах. В Московском государственном университете Калмыковым Г.А. и Балушкиной Н.С. [2017] была разработана обобщенная классификация пород на основе минерально-компонентного состава. В этой классификации деление на

классы производилось на основе массовых концентраций минералов (кремнистых, глинистых, карбонатных) и общего содержания органического углерода (ТОС) (Рисунок 3). Стоит отметить схожий с работой [Конторович и др., 2016] подход к разделению пород на литологические типы, в котором в качестве породобразующих компонентов также приняты кремнезем, карбонаты, глинистые минералы и органическое вещество.

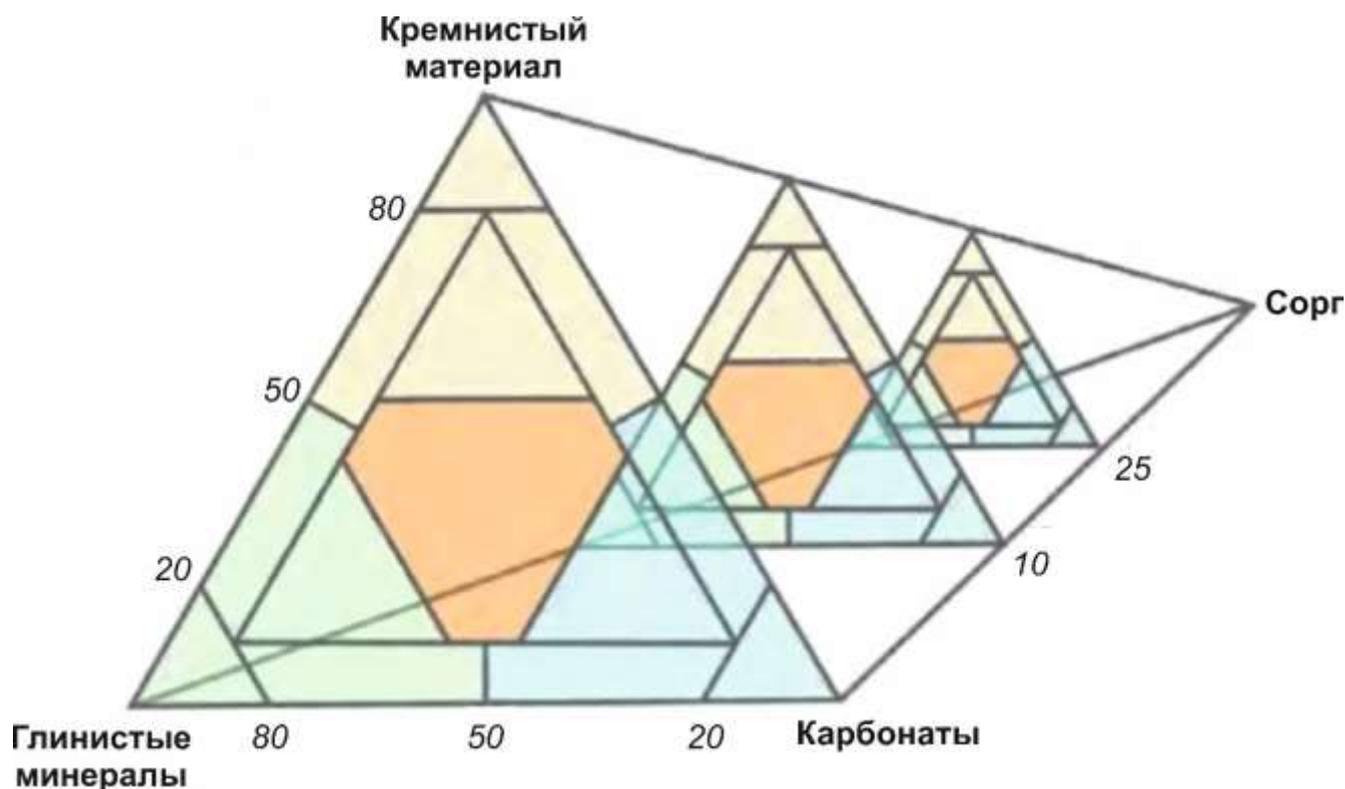


Рисунок 3 – Четырехкомпонентная номограмма для определения номенклатуры пород баженовской свиты [Калмыков, Балушкина, 2017].

В работе [Макарова и др., 2017] на основе многолетних исследований авторов предложена классификация пород баженовской свиты, которая основана на макро- и микроизучении кернового материала, с использованием результатов рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализов, а также пиролиза. Изначально изученные образцы были разделены по содержанию в них керогена на низкоуглеродистые (менее 10 % керогена), высокоуглеродистые (10 – 25 % керогена) и керогеновые (более 25 % керогена) породы, после чего учитывалось соотношение кремнистых, глинистых и карбонатных минералов. В качестве

дополнительных критериев авторами были использованы структурные признаки и выделены отдельные типы пород.

Немова В.Д. в своей работе предложила многоуровневую типизацию пород на основе их литологического состава, структурных и текстурных особенностей, а также фаунистических остатков, которая, в свою очередь, состоит из четырех уровней детальности [Немова, 2019]. Данная классификация подходит для проведения детальных фациальных реконструкций и восстановления обстановок осадконакопления. Классификации [Макарова и др., 2017] и [Немова, 2019] включают в себя разделение пород на классы на основе структурных (и других) признаков, что делает невозможным выделение указанных классов на основе физических параметров разреза.

#### *Стратификация и корреляция баженовской свиты*

В 60-е – 70-е гг. разрезы баженовской свиты коррелировались, в основном, с помощью интерпретации данных каротажа сопротивления. В настоящее время выделение и корреляция этих отложений по данным ГИС обычно не вызывают затруднений, однако при этом нельзя не отметить многообразие разрезов, которые отличаются между собой значениями физических параметров (электрических, радиоактивных, акустических) и формой каротажных диаграмм.

Обобщив имеющиеся на начальном этапе изучения свиты геолого-геофизические материалы (данные ГИС, результаты изучения кернового материала и палеонтологических остатков), Ю.В. Брадучан с соавторами [1986] выполнили районирование баженовской свиты по типам разрезов. В пределах исследуемой в настоящей диссертации территории выделяется салымский тип разреза, который представлен преимущественно черными, с коричневым оттенком, битуминозными аргиллитами. Согласно [Брадучан и др., 1986] в интервале свиты часто встречаются прослой (0.4 – 0.6 м, реже до 1 м) кремнистых и известковистых аргиллитов вплоть до радиоляритов и глинистых известняков, иногда доломитизированных. Их количество больше в нижней и верхней частях, а в середине и кровле они

практически отсутствуют. Надежная палеонтологическая характеристика позволила установить стратиграфический объем этих породных разностей, который для каждой из них оказался, в целом, постоянным, что послужило основанием для расчленения баженовской свиты сначала на три, а затем на четыре пачки [Брадучан и др., 1986].

По мнению авторов, разрез баженовской свиты начинается с пачки 1 (карбонатно-кремнистой) (Рисунок 4 – Стратификация салымского типа разреза баженовской свиты по [Брадучан и др., 1986].

Условные обозначения: 1 – глинистые отложения; 2 – аргиллиты битуминозные плитчатые; 3 – битуминозные известковисто-кремнистые; 4 – битуминозные кремнисто-известковистые. ), представленной аргиллитами битуминозными, черными с коричневатым оттенком. Часты прослойки кремнистой разности вплоть до радиоляритов, имеющих темно-серую окраску; мощность их до 0.4 м. Довольно обильны известковистые аргиллиты и глинистые известняки, которые обычно имеют явные признаки конкреционной природы. Мощность пачки достигает 16 м [Брадучан и др., 1986].

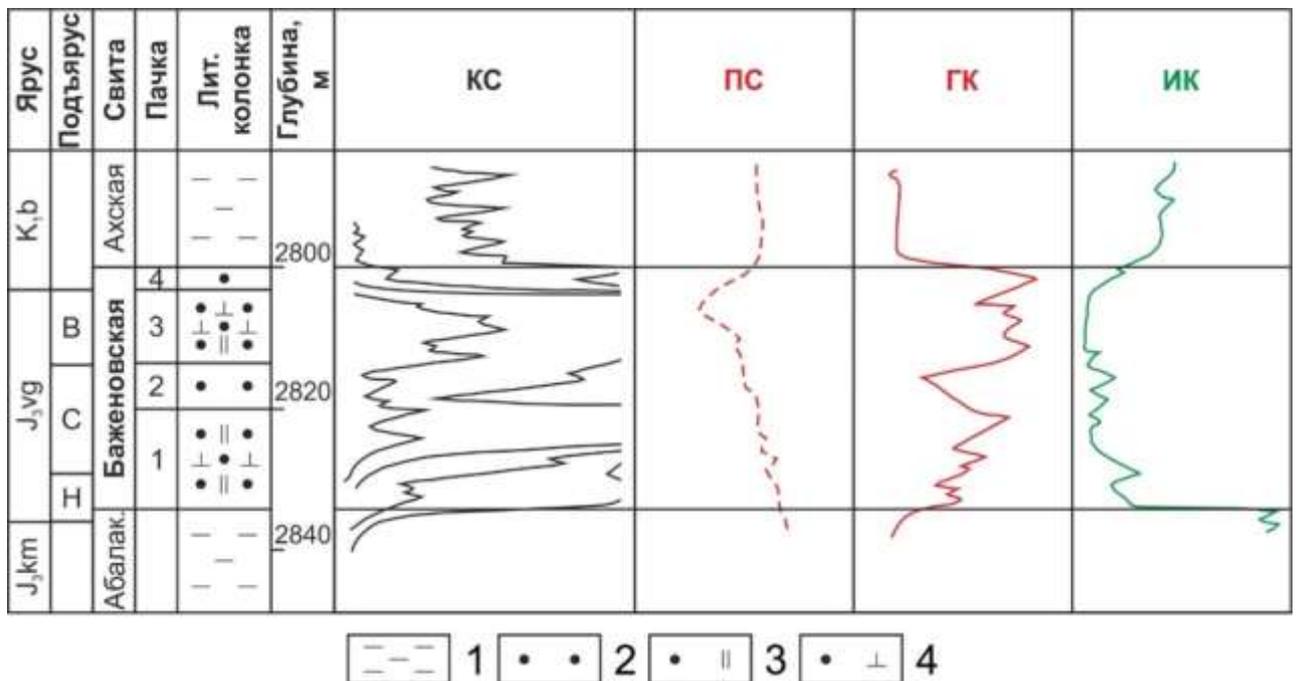


Рисунок 4 – Стратификация салымского типа разреза баженовской свиты по [Брадучан и др., 1986].

Условные обозначения: 1 – глинистые отложения; 2 – аргиллиты битуминозные плитчатые; 3 – битуминозные известковисто-кремнистые; 4 – битуминозные кремнисто-известковистые.

Центральная часть свиты представлена пачками 2 и 3. Вторая (плитчатые аргиллиты) (см. Рисунок 4 – Стратификация салымского типа разреза баженовской свиты по [Брадучан и др., 1986].

Условные обозначения: 1 – глинистые отложения; 2 – аргиллиты битуминозные плитчатые; 3 – битуминозные известковисто-кремнистые; 4 – битуминозные кремнисто-известковистые.

) сложена аргиллитами битуминозными, черными, с ярко выраженным коричневым оттенком.

На контактах с выше- и нижележащими отложениями иногда появляются плотные прослои кремнисто-карбонатного материала, что осложняет разграничение пачек. В единичных случаях они отмечаются в ее средней части. Мощность пачки изменяется от 3 до 8 м. Третья пачка (кремнисто-известковая) (см. Рисунок 4 – Стратификация салымского типа разреза баженовской свиты по [Брадучан и др., 1986].

Условные обозначения: 1 – глинистые отложения; 2 – аргиллиты битуминозные плитчатые; 3 – битуминозные известковисто-кремнистые; 4 – битуминозные кремнисто-известковистые.

) представлена аргиллитами битуминозными, черными, с коричневым оттенком различной интенсивности. Плитчатые разности, мощность которых достигает 1.5 м, чередуются в сложных сочетаниях с массивными и многочисленными прослоями глинистых известняков, мергелей и кремнистых пород, но карбонатные — превалируют. Мощность пачки обычно составляет 10 – 15 м [Брадучан и др., 1986].

Завершает разрез свиты четвертая пачка (глинистая) (см. Рисунок 4 – Стратификация салымского типа разреза баженовской свиты по [Брадучан и др., 1986].

Условные обозначения: 1 – глинистые отложения; 2 – аргиллиты битуминозные плитчатые; 3 – битуминозные известковисто-кремнистые; 4 – битуминозные кремнисто-известковистые.

), которая сложена аргиллитами битуминозными, черными, иногда до темно-серых, с коричневатым оттенком. Ее мощность варьируется от 2 до 5 м. В целом, четырехчленное строение баженовских отложений прослеживается хорошо, но на отдельных участках такое расчленение является затруднительным, а иногда и невозможным [Брадучан и др., 1986].

На рубеже XX и XXI веков количество публикаций, посвященных изучению баженовской свиты, сократилось. В основном эти исследования были сосредоточены в научно-исследовательских институтах и носили локальный характер.

В последние 10 – 15 лет во многих научных, научно-образовательных (ФБГУ «ВНИГНИ», ВНИГРИ, ФГБУН «ИНГГ СО РАН», МГУ имени М.В. Ломоносова, АУ «НАЦ РН им. Шпильмана», ТПУ и др.) и производственных

организациях (ООО «Газпромнефть НТЦ», ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», АО «ТомскНИПИнефть», ООО «Тюменский нефтяной научный центр» и др.) на современном уровне выполнялись работы по всестороннему изучению баженовской свиты. Для аналитических исследований отбирался керн по всему разрезу свиты с шагом 0.2 – 0.4 м, что позволило существенно расширить представления о ее геологическом строении. Изучению стратиграфии и литологии баженовских отложений (и их возрастных аналогов), типизации их разрезов в этот период посвящены многочисленные работы Ю.Н. Занина [2011, 2017], Н.С. Балускиной [2014, 2017], А.Э. Конторовича [2016], Н.И. Коробовой [2015], О.М. Макаровой [2017], В.Д. Немовой [2012, 2019], В.Г. Эдер и А.Г. Замирайловой [2015, 2016, 2017, 2020, 2022], Г.А. Калмыкова [2016, 2017], Е.А. Предтеченской [2006, 2016, 2018], И.В. Панченко [2015, 2016, 2021], С.В. Рыжковой [2018], О.В. Хотылева [2019, 2021], М.А. Фомина [2018, 2020, 2022], М.М. Фоминой [2021] и других специалистов. Всеми исследователями отмечается значительная неоднородность литологического состава пород баженовской свиты не только по разрезу, но и по площади.

Наиболее полная последовательность слоев и пачек в разрезах баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского бассейна представлена в работе [Панченко и др., 2016]. Исследователи разделяют свиту на две толщи, граница между которыми хорошо выделяется литологическим, палеонтологическим, геохимическим методам, а также по ГИС: отмечается увеличение значений естественной радиоактивности и уменьшение значений нейтронного каротажа при переходе от нижней толщи к верхней.

Нижняя толща сложена преимущественно углеродистыми глинисто-кремнистыми породами, в которых преобладает биогенный кремнезем. В этой толще практически отсутствует биогенный карбонатный материал, однако встречаются вторичные доломиты и известняки, замещающие высококремнистые породы. Нижняя толща включает в себя три пачки [Панченко и др., 2016].

Первая пачка сложена малоглинистыми и низкоуглеродистыми силицитами в тонком переслаивании с кремнистыми радиоляритами и, реже – неоднородно карбонатизированными радиолярятами. Ее особенностью является преимущественно линзовидное (до 5 см) развитие радиоляритов. Она присутствует повсеместно в баженовском горизонте, фациально выдержана и характеризуется небольшими толщинами (в среднем 2 – 4 м, в палеодепрессиях до 10 м) [Панченко и др., 2016].

Вторая пачка представляет собой углеродистые слабоглинистые силициты с прослоями и прослойками радиоляритов, редкими двустворками, аммонитами и многочисленными остатками радиолярий, рыб и теутид. Она представляет собой характерный элемент нижней толщи баженовской толщи и наиболее полно отражает ее признаки. В целом, описание пачки схоже с подстилающими отложениями, однако она характеризуется как однородный по составу участок с умеренно повышенным содержанием  $C_{орг}$ , имеющим тенденцию постепенного роста вверх по разрезу. Мощность пачки не постоянна и может достигать 12 м [Панченко и др., 2016].

По данным В.Г. Эдер с соавторами нижняя часть баженовской свиты представлена в основном скрытокристаллическим кремнистым и глинистым веществом со значительным преобладанием первого. В этом же интервале исследователи отмечают прослой силицитов-радиоляритов толщиной 0.2 – 1 см [Эдер и др., 2016]. Схожие результаты о литологическом составе нижней части баженовской свиты представлены Фоминой М.М. с соавторами в ходе изучения нижнетутлеймской подсвиты в районе Краснотенинского свода [Фомина и др., 2021]. Авторы отмечают влияние палеорельефа, существовавшего на момент формирования баженовского горизонта, на строение их разрезов, мощность свиты, литологических пачек, а также распространение потенциально продуктивных интервалов.

Третья пачка («радиоляритовая») сложена высококремнистыми силицитами и радиоляритами, часто вторично кальцитизированными либо

доломитизированными, с тонкими прослоями более глинистых силицитов [Панченко и др., 2016]. Также среди вторичных преобразований исследователи выделяют полную или частичную пиритизацию радиолярий, а также замещение реликтов радиолярий кварцем и халцедоном [Эдер и др., 2017]. Стоит отметить, что сохранность радиолярий в породах баженовской свиты различная: от хорошо сохранившихся с отчетливой структурой до сильно деформированных и затем переходящих в микролинзовидные кремнистые образования без признаков биогенного строения [Сараев, 1987; Эдер и др., 2016, 2017]. Формированию третьей пачки соответствовал период наибольшей биопродуктивности радиолярий, поэтому скелеты радиолярий здесь наиболее крупные. Стоит отметить, что на ряде месторождений данная пачка является продуктивным интервалом. Ее толщина варьируется от 0.7 до 5 м, в среднем составляя около 2 м [Панченко и др., 2016].

Четвертая пачка («высокоуглеродистая») начинает разрез верхней толщи баженовской свиты и хорошо выделяется аномально высокими содержаниями органического вещества, повышенной глинистостью, однородностью и выдержанностью по латерали. Она подразделяется на два слоя: нижний сложен однородными, высокоуглеродистыми, глинистыми силицитами с редкими двустворками и многочисленными аммонитами. Верхний слой в целом аналогичен по составу, однако в нем содержится большее количество иноцерамов вплоть до образования ракушняков. Толщина пачки в среднем от 4 до 5 м [Панченко и др., 2016].

Пятая пачка («кокколитофоридовая») представлена карбонатно-глинистыми высокоуглеродистыми породами по-прежнему с высоким содержанием кремния. В ней породы неоднородно насыщены биогенным карбонатом, в частности – остатками кокколитофорид, которые зафиксированы многими исследователями [Векшина, 1962; Ясович, Поплавская, 1975; Zanin et al., 2012; Балущкина и др, 2013; Эдер и др., 2015; Панченко и др., 2015, Эдер и др., 2017 и др.]. «Кокколитовая» пачка выделяется в составе баженовской свиты почти на всей территории распространения салымского типа разреза (по Ю.В. Брадучану с соавторами

[1986]), кроме её восточных районов [Эдер и др., 2016]. Также, в данной пачке в больших количествах появляется фромбоидальный пирит [Панченко и др., 2016], образование которого связывают с бактериальной деятельностью [Рихванов, 2015] в раннем диагенезе [Эдер, 2020].

Наличие карбонатного вещества в верхней части баженовской свиты было отмечено также и в работах [Предтеченская и др., 2006; Коробова и др., 2015; Эдер и др., 2016; Эдер и др., 2017; Зубков, 2016; Фомина и др., 2021 и др.]. Е.А. Предтеченская [2006] с соавторами в своих работах разделяет карбонатные минералы на первичные биогенные и вторичные (седиментационно-диагенетические/хемогенные низкотемпературные и катагенетические/относительно высокотемпературные гидротермальные) [Предтеченская и др., 2005].

По данным М.Ю. Зубкова [2016] карбонатное вещество накапливалось в «кислую» стадию разложения отмершего ОВ, содержащегося в иловом осадке. При его окислении выделялось значительное количество углекислого газа, который при растворении в морской воде превращался в угольную кислоту, которая, в свою очередь, затем диссоциировала, давая сначала бикарбонат, а затем карбонат-ионы, вошедшие в состав «биогенных» карбонатов. Ряд других исследователей [Weissert H. et al., 1996; Tremolada F. et al., 2006; Follmi K.B., 2012] связывают смену кремнистой биогенной седиментации на кремнисто-карбонатную с аридизацией климата, повлекшей за собой изменение кислотно-щелочного баланса водной среды. Вероятно, данные события способствовали образованию и последующему накоплению кокколитофорид.

Последние исследования показывают наличие в баженовской свите маломощных прослоев туфов и туффитов (от первых миллиметров до сантиметра). Все обнаруженные туфогенные прослои тяготеют к верхней части баженовского горизонта, располагаясь в интервале от центральной части пачки 3 до верхней части пачки 5а (от верхней части средневожского подъяруса до верхов рязанского яруса) [Панченко и др., 2021]. Наибольшее количество прослоев тяготеет к пачкам

4 и 5, в то время как самый мощный из встреченных (до 1 см) прослой пелитизированных туфов зафиксирован в 4 пачке баженовской свиты. На основе петрографических, минералогических и геохимических исследований авторами было предположено, что источник пеплового материала находился к юго-западу от исследованной территории, скорее всего в Закавказье, с последующим его ветровым переносом и осаждением. Благоприятными условиями для накопления таких пород считаются низкая скорость осадконакопления и отсутствие активной гидродинамики [Панченко и др., 2021].

Шестая пачка («пиритовая») представлена углеродистыми кремнистыми глинами вплоть до глинистых силицитов. Пачка сложена тонко-горизонтально слоистыми породами, интенсивно пиритизированными, бескарбонатными (иногда малокарбонатными) [Панченко и др., 2016]. Высокое содержание пирита в прикровельной части баженовской свиты зафиксировано многими исследователями, однако, иногда данный интервал относят к подачимовским отложениям, не входящим в баженовскую свиту [Эдер и др., 2020].

Описанное выше расчленение разреза, его основные черты и общие закономерности литологического состава корректны для большой площади Западно-Сибирского осадочного бассейна, что позволяет проводить детальную корреляцию на значительных расстояниях. Однако необходимо отметить, что толщины и литофациальное выражение отложений могут существенно меняться, а некоторые пачки баженовской свиты могут полностью отсутствовать [Панченко и др., 2016; Фомина и др., 2021; Эдер и др., 2022].

На основе комплексного анализа литолого-геохимических, геофизических и палеонтологических данных в работе [Эдер и др., 2022] приведено крупное обобщение по литологии и палеогеографии баженовских отложений. В публикации показан литологический состав верхней части баженовской свиты (в соответствии с классификацией [Конторович и др., 2016]) в разрезе скважины №901 Малобалыкской площади, расположенной в пределах исследуемой территории. В центральной части свиты (пачка 3) авторы статьи выделяют силициты и

керогеновые силициты. Четвертая пачка сложена преимущественно микститами кероген-глинисто-кремнистыми. Выше по разрезу увеличивается содержание карбонатных минералов, что позволяет исследователям [Эдер и др., 2022] выделить микститы кероген-карбонатно-кремнистые с прослоем карбоната в пятой пачке, а также микститы глинистые с прослоем доломита в шестой. Результаты литолого-геохимических исследований подтвердили описанные ранее в работе [Панченко и др., 2016] закономерности изменения литологического состава баженовской свиты по глубине.

*Подстилающие и перекрывающие баженовскую свиту отложения*

Согласно схеме фациального районирования келловей и верхней юры Западной Сибири, баженовскую свиту на изучаемой территории согласно подстилает абалакская свита. Она была выделена П.Ф. Ли в 1959 г. со стратотипом в разрезах скважин одноименной площади [Сургутский нефтеносный..., 1968]. Согласно [Решение..., 2004] разделена на две подсвиты: нижнеабалакскую, представленную глинами и аргиллитами темно-серыми тонкоотмученными, реже алевритовыми, с глауконитом, мощность которой обычно не превышает 30 м; и верхнеабалакскую, имеющую аналогичный состав, но иногда содержащую прослой битуминозных и глауконитовых разностей, карбонатных конкреций, с мощностью от 4 до 20 м. Общая мощность абалакской свиты достигает 50 м, иногда сокращаясь до 30 м. Ее породы трансгрессивно залегают на тюменской свите, представленной континентальными отложениями. Практически повсеместно в низах абалакской свиты присутствует пахомовская пачка (см. Рисунок 2) (верхний бат – верхний келловей) – базальный пласт, представленный слабосцементированными буроватыми песчаниками и алевролитами [Стратиграфия нефтегазоносных..., 2000].

В работе [Панченко и др., 2016] авторы выделяют в абалакской свите три пачки (сверху вниз): (1) глины темно-серые и зеленовато-серые алевритистые до алевритовых, мощностью 5 – 15 м; (2) глины серые малоалевритистые и алевритистые неоднородно карбонатные с известковыми конкрециями и

септариями, мощностью 5 – 15 м; (3) переходный абалакско-баженовский интервал, существенно обогащенный биогенным кремнеземом и сапропелевым органическим веществом. Авторы отмечают, что переходный интервал часто относят к баженовской свите, однако он обладает переходными свойствами как баженовской, так и абалакской свит: представлен темно-серыми глинами высококремнистыми до силицитов, аргиллитоподобными, местами слабобиотурбированными. Наличие биотурбации и органических остатков «абалакского» типа, а также преобладание глин и сравнительно низкое содержание в породах органического вещества позволяют отнести данный интервал именно к абалакской свите.

Перекрывает баженовскую свиту подачимовская толща сортымской свиты. Согласно [Решение..., 2004] она представлена переслаиванием глин и их слабоуглеродистых разновидностей. В среднем мощность перекрывающей глинистой покрывки, как правило, составляет 15 – 20 м. Утонение подачимовской толщи до 3 – 5 м наблюдается редко и на небольших площадях. Залегание ачимовских песчаников непосредственно на баженовской свите отмечается редко и распространено локально [Зубков и др., 1999]. Граница между баженовской свитой и подачимовской толщей постепенная (уменьшается содержание органического вещества, увеличивается содержание глинистых минералов), однако часто в кернах материала подчеркнута маломощной зоной пиритизации.

## **1.2. Тектоническое строение**

Западно-Сибирский осадочный бассейн представляет собой крупнейшую депрессионную зону – геосинеклизу, занимающую площадь 2 692 000 км<sup>2</sup>. Она имеет изометричную меридианально вытянутую форму. По направлению длинной оси размеры седиментационного бассейна составляют около 2400 км, по направлению короткой – 1750 км, максимальная амплитуда в рельефе кровли юры превышает 5000 м [Конторович и др., 2001]. В строении Западно-Сибирской геосинеклизы выделяют три структурных этажа:

- фундамент, состоящий преимущественно из отложений рифей–палеозойского возраста;
- промежуточный, рифтогенный этаж, представленный базальтами и риолитами поздней перми и раннего триаса, сменяющимися вверх по разрезу терригенными толщами среднего и верхнего триаса (стратиграфический объем данного комплекса на территории Западно-Сибирской плиты различен);
- плитный чехол сложен мезозойско-кайнозойскими, практически недислоцированными осадочными толщами [Хотылев и др., 2021].

Нижние два структурных этажа являются доюрским основанием.

### *Тектоническое строение фундамента*

Изучением тектонического строения доюрского основания Западно-Сибирской плиты занимались В.С. Сурков, О.Г. Жеро, А.Э. Конторович [Сурков, Жеро, 1981; Шпильман и др., 1999; Конторович, Беляев, 2000; Елкин и др., 2007] и многие другие исследователи. Домезозойские образования (комплекс основания) Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна вскрыты многочисленными скважинами, благодаря чему в фундаменте выделяют ряд разновозрастных складчатых систем, образующих под чехлом гетерогенную складчатую область [Сурков, Жеро, 1981; Нефтегазоносные бассейны..., 1994].

Согласно тектонической карте фундамента Западно-Сибирской плиты, в пределах изучаемой территории выделяется Центрально-Западно-Сибирская складчатая система позднегерцинского этапа консолидации [Сурков, Жеро, 1981; Хотылев и др., 2021]. Впервые она была выделена в 1967 г. и занимает центральную часть плиты, пересекая ее с юга на север. Данная складчатая система заложилась в силуре или начале девона на коре континентального типа. Ее специфичность заключается в том, что прогибы, несмотря на интенсивность и большую глубину прогибания, выполнены не вулканогенно-осадочными и магматическими комплексами, а осадочными, преимущественно терригенными комплексами пород [Сурков, Жеро, 1981]. Так, структурно-формационные комплексы этой зоны

сложены флишевыми и карбонатными формациями преимущественно среднего палеозоя. Отложения девона и каменноугольной системы представлены терригенными и карбонатно-терригенными породами. Дорифейские образования представлены фрагментарными блоками архейского и раннепротерозойского возраста [Хотылев и др., 2021]. Значительную часть на западе территории занимает гранитный массив. Считается, что гранитизация терригенных комплексов произошла в заключительную фазу тектогенеза [Сурков, Жеро, 1981]. Также в юго-западной части территории исследования зафиксированы породы ультрабазитового состава (Рисунок 5 – Фрагмент тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты [Сурков, Жеро, 1981].

Условные обозначения: возраст стабилизации: 1 – области раннегерцинской складчатости, 2 – области позднегерцинской складчатости, 3 – области байкальской складчатости, переработанные герцинский тектогенезом; структуры дейтероорогенного этапа развития: 4 – наложенные впадины и прогибы в пределах срединных и устойчивых массивов, 5 – раннемезозойские впадины и грабены в пределах каледонской и герцинской складчатости, 6 – выступы-горсты байкальских складчатых комплексов; интрузивные комплексы: 7 – гранитоиды, 8 – базиты, 9 – ультрабазиты; разломы: 10 – раннемезозойские грабен-рифты, 11 – разломы, разграничивающие структурно-формационные зоны.

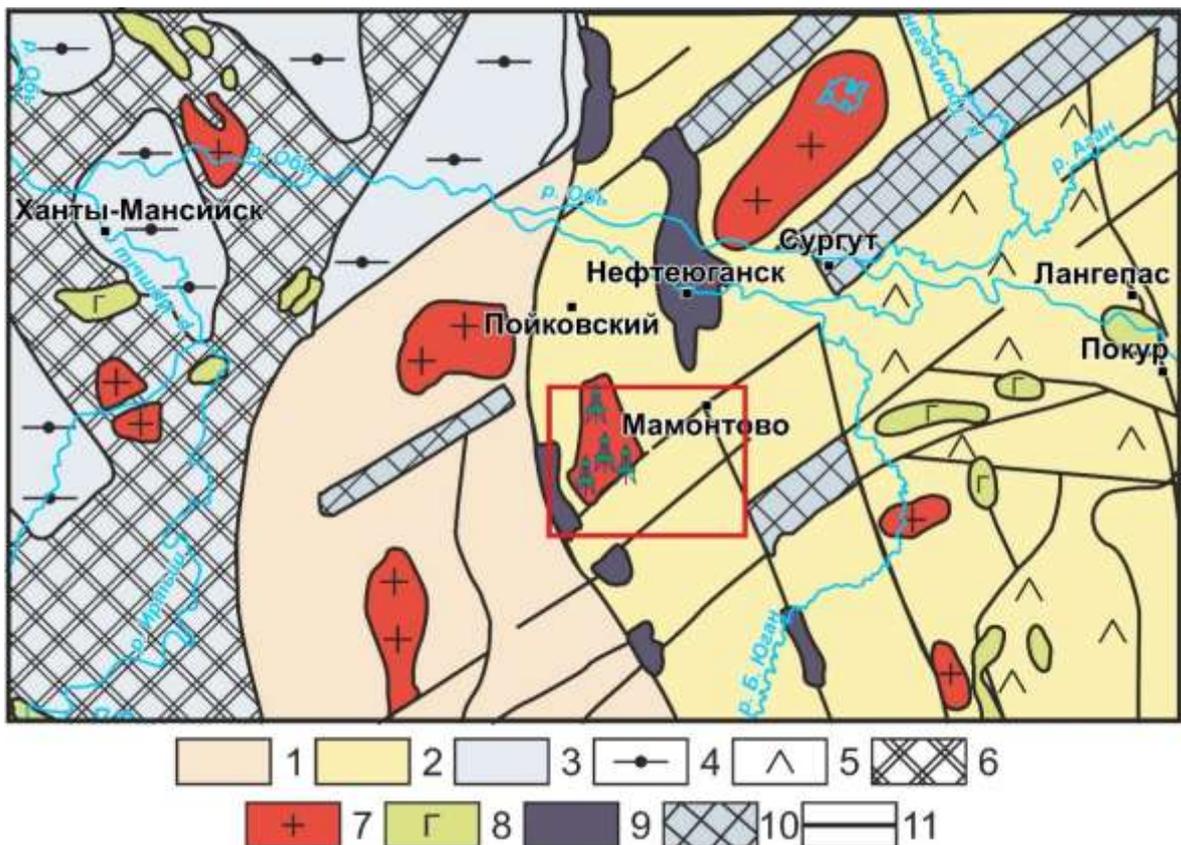


Рисунок 5 – Фрагмент тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты [Сурков, Жеро, 1981].

Условные обозначения: возраст стабилизации: 1 – области раннегерцинской складчатости, 2 – области позднегерцинской складчатости, 3 – области байкальской складчатости, переработанные герцинский тектогенезом; структуры дейтероорогенного этапа развития:

- 4 – наложенные впадины и прогибы в пределах срединных и устойчивых массивов,  
 5 – раннемезозойские впадины и грабены в пределах каледонской и герцинской складчатости,  
 6 – выступы-горсты байкальских складчатых комплексов; интрузивные комплексы:  
 7 – гранитоиды, 8 – базиты, 9 – ультрабазиты; разломы: 10 – раннемезозойские грабен-рифты,  
 11 – разломы, разграничивающие структурно-формационные зоны.

### *Тектоническое строение осадочного чехла*

Баженовская свита завершает разрез юрского осадочного комплекса, представляющего собой в тектоническом отношении структурный ярус. Отражающий сейсмический горизонт «Б», связанный с кровлей этой свиты, наиболее ярко выражен в рисунке сейсмической записи, поэтому структурные построения по этому уровню являются максимально точными. Тектоническая карта по кровле структурного яруса не только характеризует современный рельеф этой поверхности, но отражает принципиальные черты тектонического строения всего мезозойско-кайнозойского осадочного чехла. Современные представления о тектонике осадочного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы сложились еще на ранних этапах изучения бассейна благодаря таким исследователям, как Г.К. Боярских, В.В. Гребенюк, Ф.Г. Гурари, О.Г. Жеро, А.Э. Конторович, К.И. Микуленко, В.Д. Наливкин, И.И. Нестеров, Н.Н. Ростовцев, М.Я. Рудкевич, Ф.К. Салманов, А.А. Смыслов, Л.В. Смирнов, В.С. Старосельцев, В.С. Сурков, А.А. Трофимук, В.И. Шпильман [Конторович, 2002].

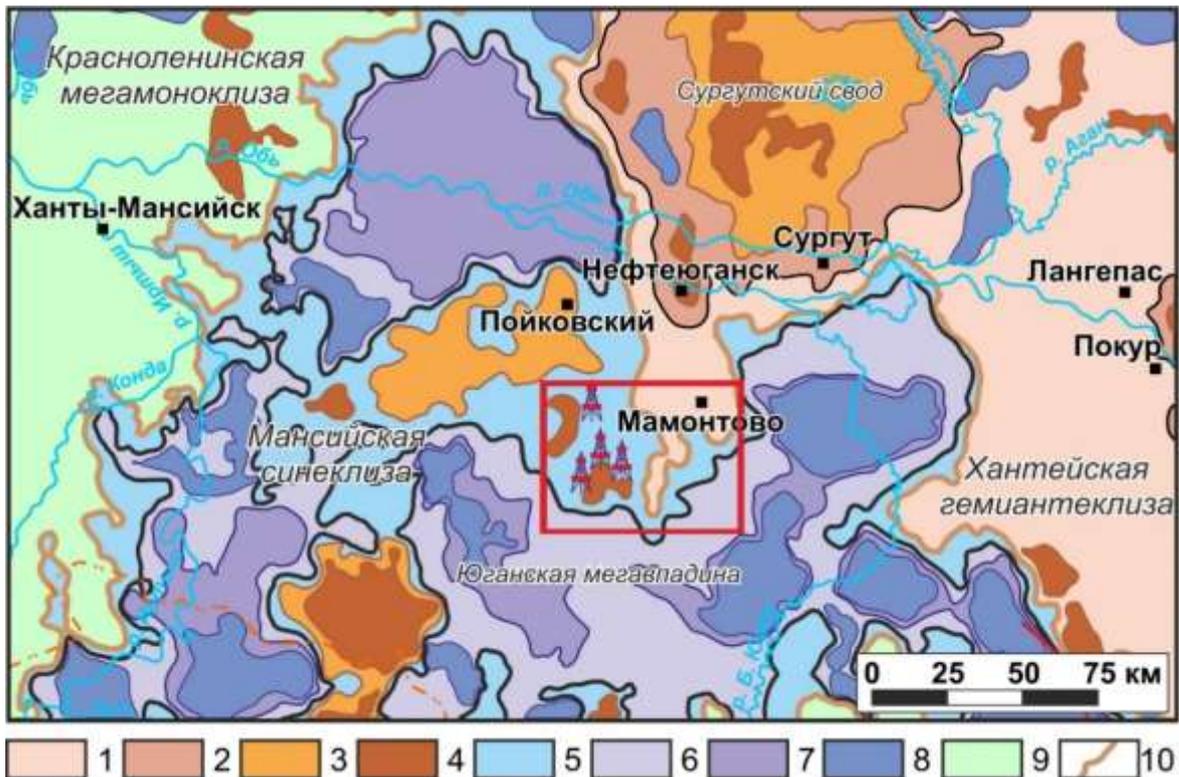


Рисунок 6 – Фрагмент тектонической карты юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [Конторович и др., 2001].

Условные обозначения: положительные тектонические элементы: 1 – надпорядковые, 2 – I порядка, 3 – II порядка, 4 – III порядка; отрицательные тектонические элементы: 5 – надпорядковые, 6 – I порядка, 7 – II порядка, 8 – III порядка; промежуточные: 9 – мега-, мезо-, моноклинали Обской ступени; 10 – границы надпорядковых структур.

Ниже рассматривается современное строение осадочного чехла ЗСГ согласно карте тектонического районирования (Рисунок 6 – Фрагмент тектонической карты юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [Конторович и др., 2001].

Условные обозначения: положительные тектонические элементы: 1 – надпорядковые, 2 – I порядка, 3 – II порядка, 4 – III порядка; отрицательные тектонические элементы: 5 – надпорядковые, 6 – I порядка, 7 – II порядка, 8 – III порядка; промежуточные: 9 – мега-, мезо-, моноклинали Обской ступени; 10 – границы надпорядковых структур.

), построенной в ИНГГ СО РАН [Конторович и др., 2001]. Карта создавалась на основе разработанной в этом коллективе классификации тектонических элементов [Конторович, Беляев, 2000; Конторович, 2004]. В пределах Западно-Сибирской геосинеклизы выделяется класс региональных структур, к которому относятся Внешний пояс и Внутренняя область геосинеклизы. Последняя, в свою очередь, подразделяется на Обскую региональную ступень и Ямало-Карскую региональную депрессию.

Территория исследования находится в зоне сочленения Мансийской синеклизы и Хантейской гемиянтеклизы (см. Рисунок 6 – Фрагмент тектонической карты юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [Конторович и др., 2001].

Условные обозначения: положительные тектонические элементы: 1 – надпорядковые, 2 – I порядка, 3 – II порядка, 4 – III порядка; отрицательные тектонические элементы: 5 – надпорядковые, 6 – I порядка, 7 – II порядка, 8 – III порядка; промежуточные: 9 – мега-, мезо-, моноклинали Обской ступени; 10 – границы надпорядковых структур.

). Мансийская синеклиза, занимает большую часть исследуемой территории и контролируется изогипсой – 2800 м. Она имеет амплитуду 350 м, а ее общая площадь составляет 58 200 км<sup>2</sup>. В юго-западной и юго-восточной частях изучаемого района выделяется Юганская мегавпадина – наиболее крупная в пределах Мансийской синеклизы депрессия I порядка, которая охватывает территорию, площадью 20 000 км<sup>2</sup>, ограничена изогипсой – 2820 м и имеет амплитуду 260 м. Также в пределах отрицательной надпорядковой структуры на изучаемой территории находятся два положительных тектонических элемента третьего порядка: Малобалыкское куполовидное поднятие и Среднесалымский вал. В центральной части территории выделяют положительный тектонический элемент – Хантейскую гемиянтеклизу, имеющую площадь около 65 000 км<sup>2</sup>, оконтуренную изогипсой – 2800 м с севера, юга и востока [Конторович и др., 2001].

### **1.3. Нефтеносность баженовской свиты**

Изучение баженовской свиты проводится уже более шестидесяти лет. Практически сразу для исследователей стало очевидно, что эти отложения являются главной нефтематеринской толщей всего Западно-Сибирского осадочного бассейна. Однако немаловажным стали предположение Ф.Г. Гурари [1961] о возможной нефтеносности баженовской свиты и последующее её подтверждение в 1964 г. на территории Правдинской нефтегазоразведочной экспедиции и позднее на других площадях [Новиков и др., 1970]. Открытие притоков баженовской нефти побудило повышенный интерес геологов-нефтяников к этому уникальному природному объекту.

*Тип и ёмкость коллектора*

Одна из первых моделей формирования коллектора в баженовской свите была предложена Ф.Г. Гулари. В соответствии с этой моделью основным фактором, обуславливающим формирование нефтяных залежей в баженовской свите, считается процесс нефтегенерации, сопровождающийся автофлюидоразрывом, в результате которого и образуется коллектор [Гулари, 1979, 1983, 1988]. Таким образом, чем больше исходного органического вещества, выше степень катагенеза, тем больше вероятность возникновения коллектора, а мощные выше- и нижележащие флюидоупоры должны препятствовать миграции углеводородов и исчезновению залежей нефти [Зубков и др., 1999]. Многие исследователи (О.Г. Зарипов, И.И. Нестеров, С.Г. Краснов, М.Д. Хуторский, М.В. Корж, С.И. Филина, В.А. Скоробогатов и другие) поддержали гипотезу флюидоразрыва как причину возникновения горизонтальных трещин и, как следствие, коллекторской емкости [Геологическая модель..., 2016Ф].

Однако в истории выделения перспективных зон для поиска нефти в баженовской свите имеются и другие гипотезы. Специалисты ИГиРГИ и ВНИГРИ (Л.П. Климушина, В.В. Корнев, М.И. Козлова, А.И. Степанов, Ю.А. Терещенко) [Крылов и др., 1977; Степанов, Терещенко, 1973] в работах, опубликованных в 1980 – 1985 гг., утверждали, что трещинноватость баженовской свиты обусловлена тектоническими напряжениями и связанными с ними глубинными разломами. Формирование залежи объясняется подтоком нефти из нижележащих свит. Они считали, что первая задача поисков – выявление глубинных разломов и раздробленных участков. Связь возникновения коллектора с горизонтальными тектоническими напряжениями упоминается в работах А.А. Трофимука и Ю.Н. Карогодина, Г.М. Таруца и Е.А. Гайдебуровой и др. [Трофимук, Карогодин, 1981; Таруц, Гайдебурова, 1978]. В публикации [Скоробогатов, Краснов, 1984] структурный фактор также указан как один из критериев нефтеносности. По их мнению, тектонические движения приводили к растрескиванию гидрофобных

пород баженовской свиты, максимальному в сводах структур. Выше- и нижележащие глины не теряли пластичности и сохранялись в качестве экранов.

Основываясь на представительном банке результатов аналитических исследований керн специалистами ИНГГ СО РАН под руководством академика А.Э. Конторовича разработана модель образования пустотного пространства баженовской свиты и предложена оригинальная методика определения нефтенасыщенности этих пород [Конторович и др., 2018]. Авторы пришли к выводу, что помимо субгоризонтальной «трещиноватости» пустотное пространство в карбонатно-углеродисто-глинисто-кремнистых породах баженовской свиты представлено пораами, образовавшиеся за счет псевдофазовых превращений керогена в термобарических условиях с новообразованием нафтидов и других, неуглеводородных жидких и газообразных соединений. Исследователи утверждают, что этот тип пустотного пространства плохо закреплен минеральным каркасом, а увеличение горного давления или потеря породой жидких флюидов может приводить к частичному или полному исчезновению пор.

Схожей точки зрения, хотя и не приводя подробного разбора физико-химических процессов, происходящих с веществом, придерживаются и другие специалисты. Согласно результатам их исследований, «органическая» пористость образуется в процессе диа- и катагенетического преобразования органического вещества за счет его термодеструкции [Калмыков, Балущкина, 2017; Калмыков и др., 2019]. В работах многих исследователей обосновывается возможность образования пустот в процессе вторичных преобразований минеральной части пород (выщелачивание, замещение и др.) [Зубков, 2002; Немова, 2012; Балущкина и др., 2014; Калмыков, Балущкина, 2017; Макарова и др., 2018; Рослякова и др., 2019; Фомина и др., 2021 и др.]. Причем перечисленные выше процессы могут приводить к «разблокированию» закрытых пор и подразумевают не только увеличение объема пор, но и их сообщаемость между собой. Однако вторичные изменения могут приводить и к ухудшению емкостных свойств пород баженовской свиты. Ряд исследователей указывают на негативное влияние процессов

карбонатизации радиоляритов на поровое пространство пород баженовской свиты [Балушкина и др., 2014; Эдер и др., 2016]. Также отмечается отрицательное влияние содержания в поровом пространстве пирита на фильтрационно-емкостные свойства пород [Балушкина и др., 2014].

В работах последних лет большое внимание уделяется связи пористости с минеральным составом. В.Д. Немова [2019] выделяет поровое пространство трещинного (силициты, известняки по радиоляритам, известняки пеллоидно-интракластовые) и порового (силициты радиоляритовые, радиоляриты, доломиты по радиоляритам) типов. М.Ю. Зубков [2002, 2016] связывает наличие пустотного пространства, представленного трещинами и порами, с присутствием в породах кремнистого и карбонатного материала, способного к растрескиванию и растворению.

#### *Современное содержание органического углерода*

Баженовская свита Западной Сибири была одним из первых объектов, на примере которого в СССР было начато изучение закономерностей распределения органического вещества в осадочных бассейнах. Первые научные работы, посвященные органической геохимии баженовской свиты, были выполнены Ф.Г. Гурами [Гурами, 1959], К.А. Черниковым, Н.П. Запиваловым [Черников, Запивалов, 1958], В.Ф. Никоновым [Никонов, 1959], Г.П. Сверчковым [Сверчков, 1958]. Позднее к ним присоединились В.А. Успенский, А.Э. Конторович, И.И. Нестеров, А.С. Фомичев и многие другие. Первоначально данные работы ограничивались лишь определениями содержаний органического углерода и хлороформенных битумоидов. Позднее исследования стали охватывать изучение керогена, углеводородов в составе битумоидов, в том числе их индивидуального состава, изотопного состава углерода и серы, газов и т.д. Специальное внимание было уделено анаэробным превращениям органического вещества в процессе диагенеза при накоплении осадков баженовской свиты [Конторович и др., 2018].

В 1960 – 1963 гг., опираясь на аналитические данные по керну, Ф.Г. Гулари, Н.П. Запиваловым, А.Э. Конторовичем, И.И. Нестеровым, В.Ф. Никоновым были предприняты первые попытки построения карт распределения ОВ. В 1971 г. И.И. Плуман первым начал применять данные радиоактивного каротажа для оценки содержания органического углерода в породах, что позволило существенно увеличить плотность наблюдений при построении геохимических карт [Плуман, 1971]. В 80-е г. прошлого века такой же подход использовали Ф.Г. Гулари и В.И. Москвин [1988], а в начале XXI века – В.А. Конторович [2002]. При этом при поисках зависимости «кern-ГИС» они использовали средние значения параметров по каждой изученной скважине.

Сбор и обработка новейшей информации, включая результаты интерпретации данных ГИС, позволила построить новую, значительно более точную и детальную карту распределения органического углерода в баженовской свите Западно-Сибирского бассейна [Конторович и др., 2018], фрагмент которой представлен на рисунке 7. Согласно карте средних концентраций органического углерода, в баженовской свите в пределах территории исследования содержание органического углерода изменяется от 7.2 до 10.2 %.

#### *Катагенетическая преобразованность органического вещества*

Катагенез – значимый этап в истории преобразования органического вещества. На этом этапе термобарические факторы начинают играть существенную роль в преобразовании заключенного в осадочных породах ОВ. Катагенез является одним из важнейших факторов, контролирующих формирование и сохранение залежей нефти и газа, он в значительной мере определяет их фазовое состояние и углеводородный состав. Поэтому выяснение уровня катагенетической зрелости органического вещества баженовской свиты является одним из важнейших критериев ее нефтеносности.

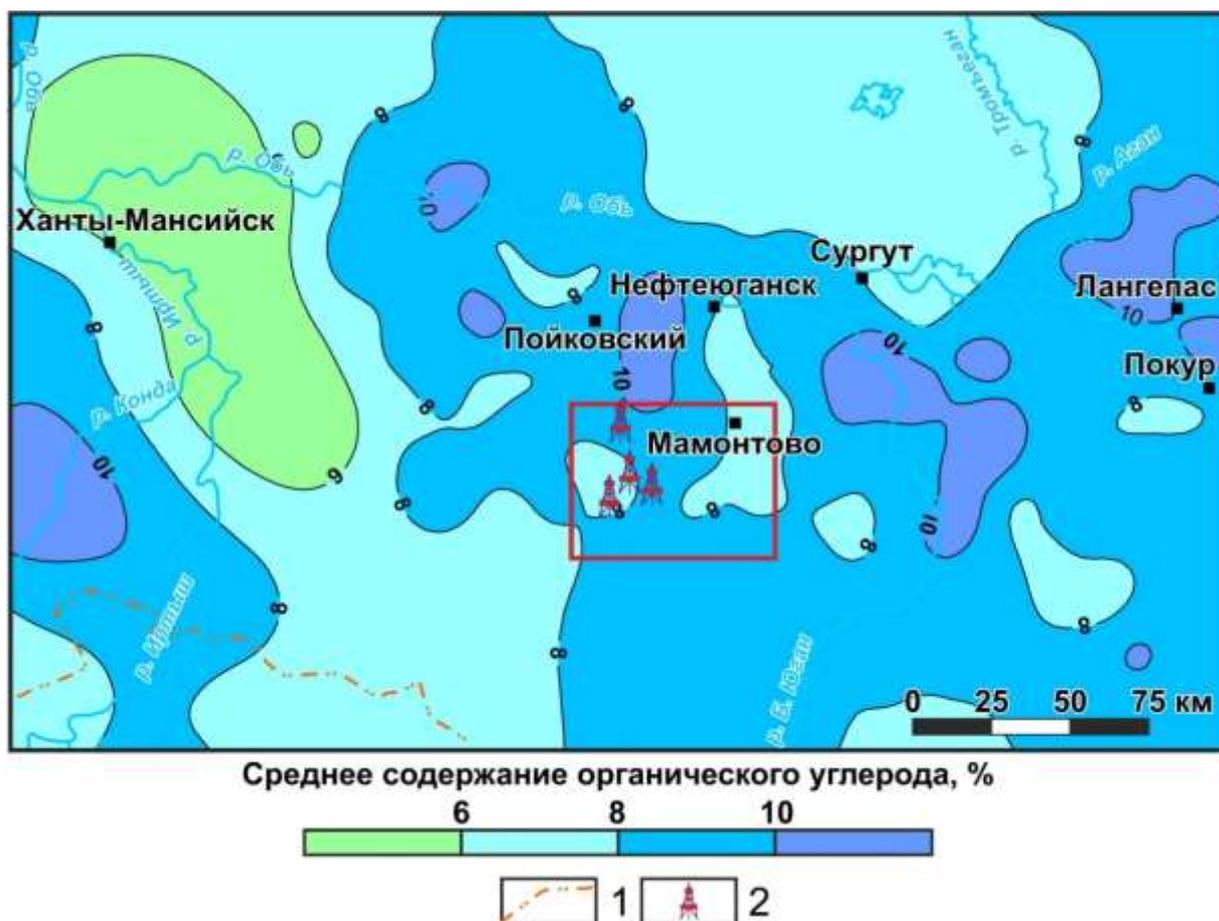


Рисунок 7 – Карта средних концентраций органического углерода в баженовской свите [Конторович и др., 2018].

Условные обозначения: 1 – административная граница, 2 – скважины с аналитическими исследованиями керна.

Изучение катагенеза органического вещества (ОВ) мезозойских отложений Западной Сибири было начато в середине XX столетия и продолжается в настоящее время. В решение этого вопроса существенный вклад внесли многие исследователи: И.И. Аммосов, А.Э. Конторович, В.С. Вышемирский, Н.В. Лопатин, П.А. Трушков, Г.М. Парпарова, А.Н. Фомин, А.С. Фомичев, В.И. Горшков, Е.И. Соболева, С.И. Белецкая, О.И. Бостриков, Е.Л. Виноградова, Ф.Г. Гулари, Т.П. Емец, А.В. Жукова, В.В. Иванцова, Н.Н. Немченко, С.Г. Неручев, И.И. Нестеров, И.А. Олли, И.Д. Полякова, А.С. Ровенская, Л.В. Ровнина, Е.А. Рогозина, К.Г. Рожкова, Н.Н. Ростовцев, В.И. Ручнов, А.В. Рыльков, Г.П. Сверчков, В.А. Скоробогатов, К.В. Черников, В.П. Шорин и др.

Уровень зрелости органического вещества баженовской свиты в пределах территории исследования был изучен на основе карты катагенеза [Конторович и

др., 2009; Фомин, 2011] (Рисунок 8 – Карта стадий катагенеза по отражательной способности витринита

витринита

[Конторович и др., 2009; Фомин, 2011].

Условные обозначения: 1 – административная граница, 2 – скважины с аналитическими исследованиями керна.

).

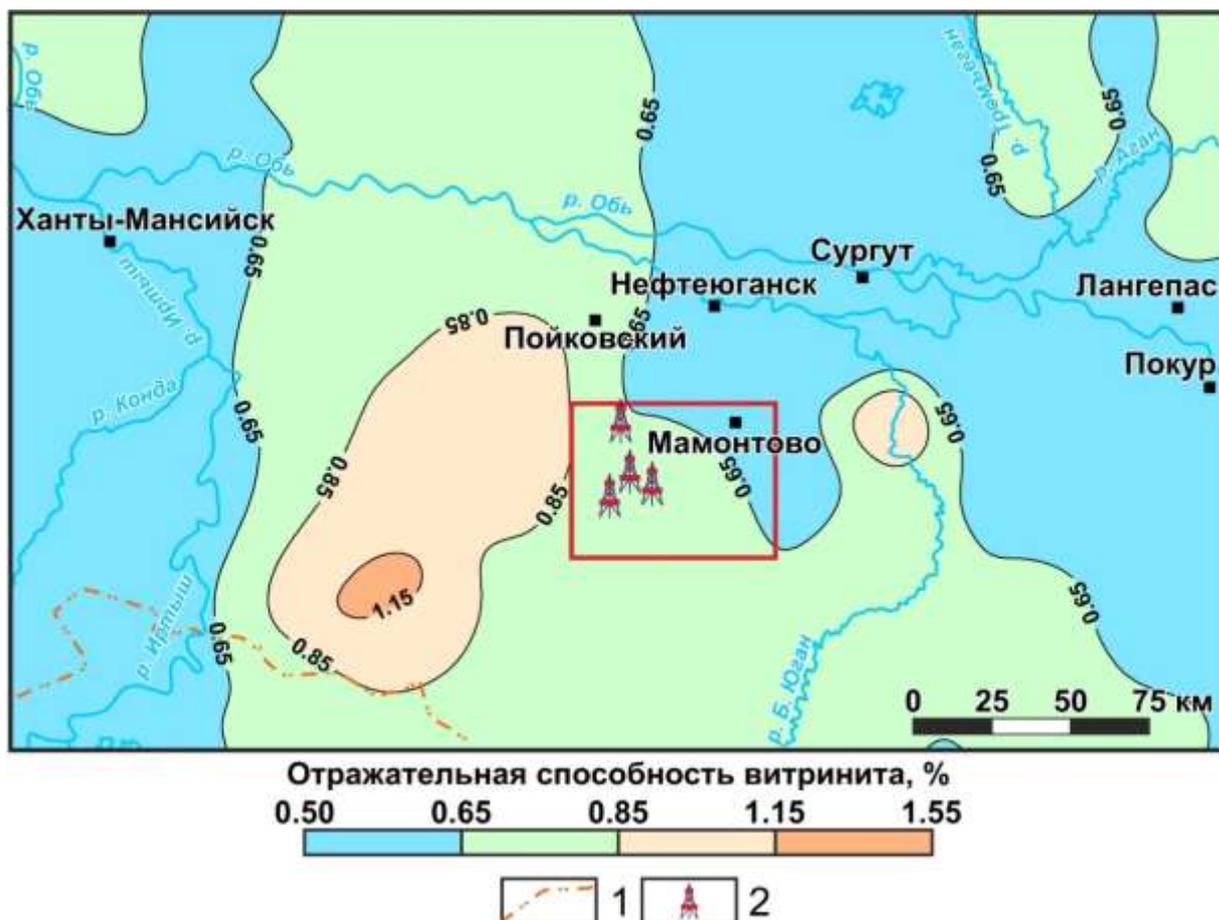


Рисунок 8 – Карта стадий катагенеза по отражательной способности витринита [Конторович и др., 2009; Фомин, 2011].

Условные обозначения: 1 – административная граница, 2 – скважины с аналитическими исследованиями керна.

Согласно этой карте, на большей части территории исследования баженовская свита находится в главной зоне нефтеобразования ( $R_{vt}^0 > 0.6\%$ ) (Таблица 2). Исключение составляет северо-восточная часть, где значение отражательной способности витринита уменьшается до 0.53 %, что, возможно, связано с меньшими глубинами залегания свиты. Максимальная зрелость

органического вещества наблюдается в западной части изучаемого района, где значения  $R_{vt}^0$  достигает 0.85 % (начало градации МК<sub>2</sub> ).

Таблица 2 – Обозначения градаций катагенеза [Конторович, 1976].

Катагенез			$R_{vt}^0$ , %	Зоны нефтегазообразования	
Этап	Подэтап	Градации			
Прото		ПК <sub>1</sub>	0.25	Верхняя зона газообразования	
		ПК <sub>2</sub>	0.30		
		ПК <sub>3</sub>	0.40		
Мезо	Начальный	МК <sub>1</sub> <sup>1</sup>	0.50	Главная зона нефтеобразования	
		МК <sub>1</sub> <sup>2</sup>	0.65		
	Средний	МК <sub>2</sub>	0.85	Глубинная зона газообразования	
		Глубинный	МК <sub>3</sub> <sup>1</sup>		1.15
			МК <sub>3</sub> <sup>2</sup>		1.50
Апо		АК <sub>1</sub>	2.00		
		АК <sub>2</sub>	2.50		

### *Современные пластовые температуры*

О роли пластовой температуры как основного фактора генерации углеводородов и параметра, характеризующего состояние залежи, писали многие исследователи с ранних этапов изучения баженовской свиты. Еще в конце 80-х г. прошлого столетия С.Г. Краснов и М.Д. Хуторской отмечали, что температура –

важный параметр, отчетливо связанный с нефтеносностью. Многими авторами было отмечено, что температурный фактор имеет большое значение в генерации вторичной емкости за счет преобразования исходного ОВ в битумоиды и неуглеводородные летучие компоненты [Геологическая модель..., 2016Ф]. Согласно [Скворцов и др., 2018], современные пластовые температуры баженовской свиты в пределах территории исследования изменяются от 86 до 95 °С. Минимальные значения зафиксированы в северо-восточной части изучаемого района, что связано с меньшими глубинами залегания свиты, а максимальные – в его центральной части (Рисунок 9 – Карта современных пластовых температур баженовской свиты [Скворцов и др., 2018]).

Условные обозначения: 1 – административная граница, 2 – скважины с аналитическими исследованиями керна.

). Дополнительно были изучены геолого-промысловые данные и по результатам термометрии установлено, что в изучаемых разрезах скважин пластовая температура в интервале баженовской свиты изменяется от 86 до 111 °С.

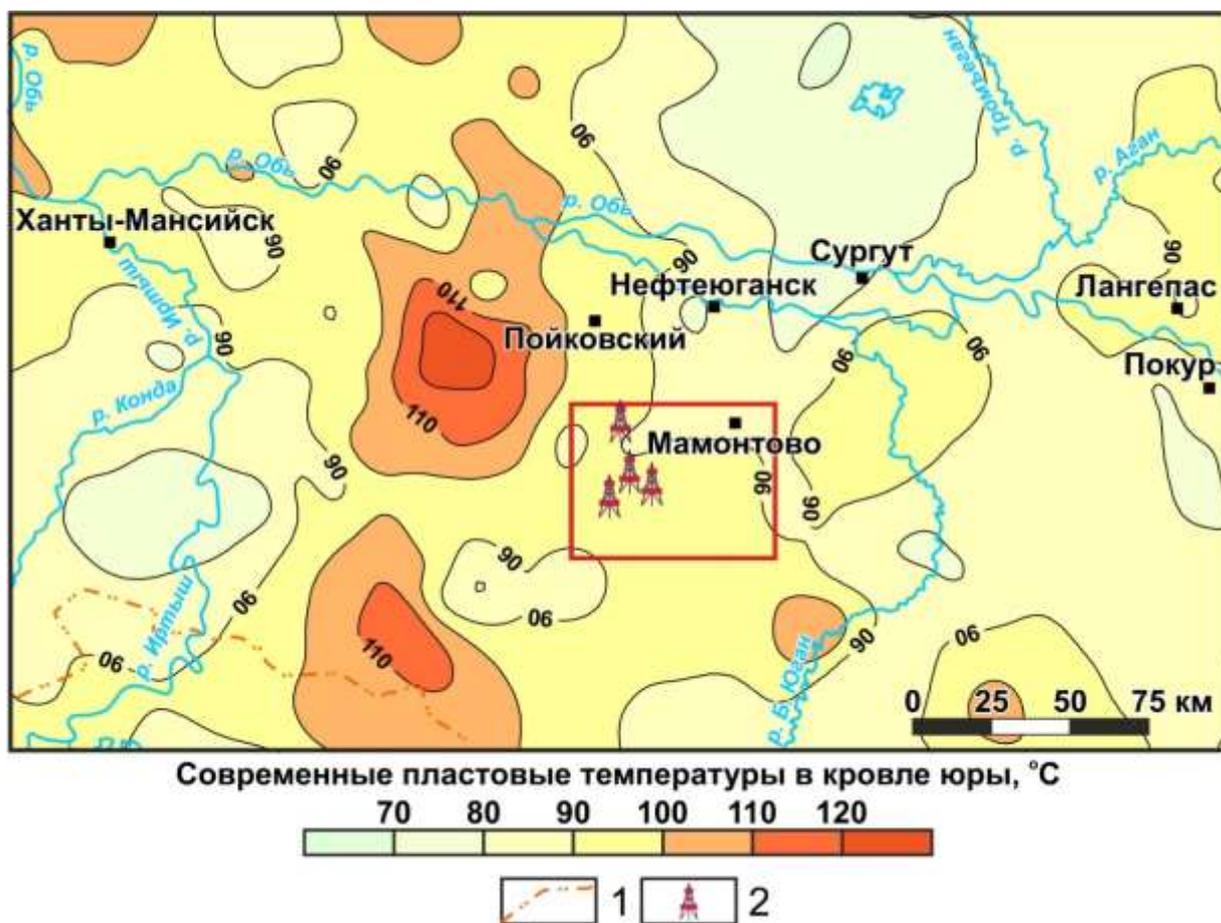


Рисунок 9 – Карта современных пластовых температур баженовской свиты [Скворцов и др., 2018].

Условные обозначения: 1 – административная граница, 2 – скважины с аналитическими исследованиями керна.

### *Нефтеносность баженовской свиты*

После получения фонтанов нефти из баженовской свиты на Салымской и Правдинской площадях, стали проводиться исследования, направленные на объяснение данного явления и поиски методов прогнозирования новых залежей и выделения перспективных территорий. Еще в публикации Г.Р. Новикова, Ф.К. Салманова и А.В. Тяна [1970] была выделена территория, примерно совпадающая с Мансийской синеклизой. В последующих публикациях Н.П. Запивалов и В.А. Родионов [1971], Ф.Г. Гурари и И.Ф. Гурари [1974], О.Г. Зарипов и И.И. Нестеров [1977], С.Г. Краснов и М.Д. Хуторской [1978], М.В. Корж и С.И. Филина [1980], В.А. Скоробогатов [1980] и другие исследователи на основе геолого-геофизических данных и различных критериев нефтеносности предпринимали попытки выделения перспективных зон для поиска нефти в баженовской свите. В качестве критериев рассматривали пластовые температуры, зрелость органического вещества, толщины баженовской свиты, а также подстилающих и перекрывающих ее отложений, тектонический фактор, удельное электрическое сопротивление горных пород и другие параметры.

В последние годы увеличилось количество и качество геологических, геофизических, геохимических, петрофизических и других данных, что позволило исследователям существенно уточнить ранее обоснованные и выделить новые перспективные зоны [Зубков, 2016; Скворцов и др., 2018; Конторович и др., 2019]. Нужно отметить, что как в публикациях прошлого столетия, так и в научных трудах начала XXI века, выбранный для исследования район находится в наиболее перспективной с точки зрения нефтеносности баженовской свиты части Западно-Сибирского бассейна (Рисунок 10 – Фрагмент схематической карты перспектив нефтегазоносности баженовского горизонта центральных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ресурсы нефти и растворённого газа) [Конторович и др., 2019].

Условные обозначения: 1 – административная граница; 2 – скважины с аналитическими исследованиями керна; 3 – залежи нефти в баженовской свите; стоящие на государственном балансе; плотность геологических ресурсов, т/км<sup>2</sup>: 4 – >300; 5 – 100-300; 6 – 50-100; 7 – 30-50.

), что подтверждается залежами в этих отложениях на Малобалыкском, Западно-Малобалыкском, Мамонтовском и Тепловском месторождениях, стоящих на государственном балансе.

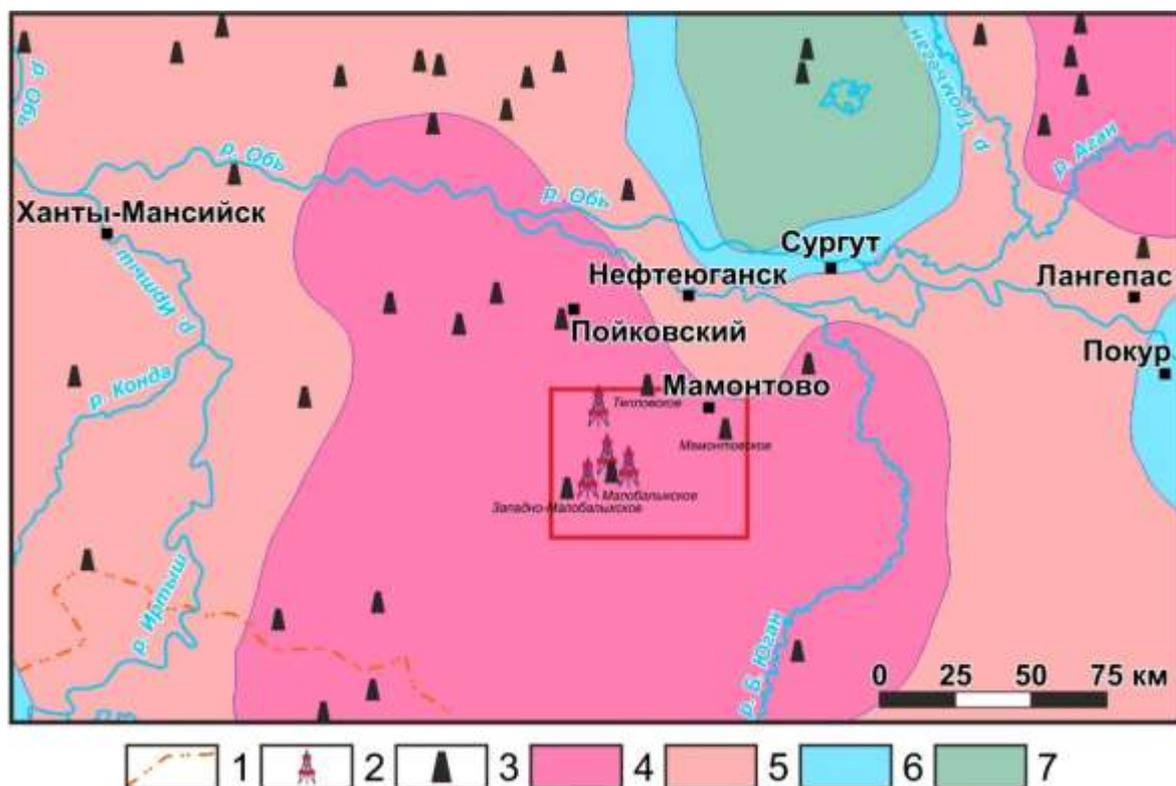


Рисунок 10 – Фрагмент схематической карты перспектив нефтегазоносности баженовского горизонта центральных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ресурсы нефти и растворённого газа) [Конторович и др., 2019].

Условные обозначения: 1 – административная граница; 2 – скважины с аналитическими исследованиями керна; 3 – залежи нефти в баженовской свите; стоящие на государственном балансе; плотность геологических ресурсов, т/км<sup>2</sup>: 4 – >300; 5 – 100-300; 6 – 50-100; 7 – 30-50.

### *Геологическое строение Малобалыкского и Западно-Малобалыкского месторождений*

Малобалыкское нефтяное месторождение расположено в Нефтеюганском административном районе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, в 68 км к юго-юго-западу от г. Нефтеюганск и относится к Сургутскому нефтегазоносному району Среднеобской нефтегазоносной области. Открыто в 1965 г., а в разработке находится с 1984 г. [Атлас..., 2013]. В тектоническом отношении месторождение приурочено к одноименному поднятию III порядка, расположенному в пределах Мансийской мегасинеклизы (см. Рисунок 6 – Фрагмент тектонической карты юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [Конторович и др., 2001]).

Условные обозначения: положительные тектонические элементы: 1 – надпорядковые, 2 – I порядка, 3 – II порядка, 4 – III порядка; отрицательные тектонические элементы: 5 – надпорядковые, 6 – I порядка, 7 – II порядка, 8 – III порядка; промежуточные: 9 – мега-, мезо-, моноклинали Обской ступени; 10 – границы надпорядковых структур.

). По геологическому строению месторождение сложное, по величине запасов относится к крупным. Запасы нефти в баженовской свите составляют около 85 млн т. Право пользования недрами Малобалыкского месторождения принадлежит ПАО «НК «Роснефть» [Атлас..., 2013].

Промышленная нефтеносность на месторождении установлена в отложениях неокомского, верхнеюрского баженовско-абалакского (пласт ЮС<sub>0</sub>) и среднеюрского (пласт ЮС<sub>2</sub>) нефтегазоносных комплексов. Всего выделяют 17 залежей [Клещев и др., 2010]. Пласт АЧ<sub>2</sub> ачимовской толщи, представленный переслаиванием песчано-алеврито-глинистых пород, является основным продуктивным пластом на месторождении [Атлас..., 2013]. По данным [Клещев и др., 2010] в интервале пласта ЮС<sub>0</sub> пористость изменяется от 8 до 17 %, проницаемость от 0.07 до 0.140 мкм<sup>2</sup>, пластовая температура варьируется от +78 до 97 °С. Для нефти баженовской свиты отмечают относительно высокую плотность 0.879 г/см<sup>3</sup> и сравнительно низкое содержание серы 0.78 % [Клещев и др., 2010]. Притоки нефти из баженовской свиты были получены более чем в десяти скважинах; дебиты изменяются от 0.5 до 25 – 30 м<sup>3</sup>/сут.

Западно-Малобалыкское нефтяное месторождение расположено в Нефтеюганском районе Ханты-Мансийского автономного округа в 80 км к юго-юго-западу от г. Нефтеюганск. Согласно схеме нефтегазогеологического районирования, относится к Сургутскому НГР Среднеобской НГО. Выделено из состава Малобалыкского в 1995 г., эксплуатация начата в 1999 г. В тектоническом отношении месторождение приурочено к одноимённому локальному поднятию. Месторождение многопластовое, по геологическому строению сложное, по величине запасов нефти среднее. Запасы нефти в баженовской свите составляют 0,6 млн т. Недропользователем является ПАО «НК «Роснефть» [Атлас..., 2013].

Промышленная нефтеносность месторождения связана с отложениями неокомского, среднеюрского (ЮС<sub>2</sub>) и баженовско-абалакского (ЮС<sub>0</sub>) нефтегазоносных комплексов [Атлас..., 2013]. Основная залежь связана с пластом БС<sub>8</sub><sup>0</sup>. Он представлен песчаниками мелкозернистыми светло-серыми, с тонкими

прослойками углистого детрита и аргиллитами тёмно-серыми средней крепости. При опробовании пласта ЮС<sub>0</sub> получен приток нефти дебитом 5.3 м<sup>3</sup>/сут при Н<sub>д</sub>=1441.5 м. Нефтенасыщенная толщина составляет 4.8 м. По данным [Клещев и др., 2010], пористость баженовской свиты на Западно-Малобалыкском месторождении составляет 8 %, проницаемость – 0.07 мкм<sup>2</sup>. Нефти баженовской свиты сравнительно легкие с относительно низким содержанием серы (0.816 г/см<sup>3</sup> и 0.76 % соответственно).

## ГЛАВА 2. ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках диссертационной работы выполнено подробное аналитическое исследование кернового материала баженовской свиты в разрезах скважин М-1, М-2, М-3 и М-4, расположенных в центральной части Мансийской синеклизы (Малобалыкское и Западно-Малобалыкское месторождения, Южно-Тепловская площадь) (Рисунок 11 – Карта фактического материала.

Условные обозначения: 1 – новые разрезы скважин, изученные автором; 2 – скважины разных лет с испытаниями в интервале баженовской свиты; 3 – ранее изученный в ИНГГ СО РАН разрез [Эдер и др., 2022]; 4 – скважины, для которых были проинтерпретированы данные ГИС; эти результаты использованы в картопостроении; 5 – границы положительных тектонических элементов III порядка [Конторович и др., 2001].

).

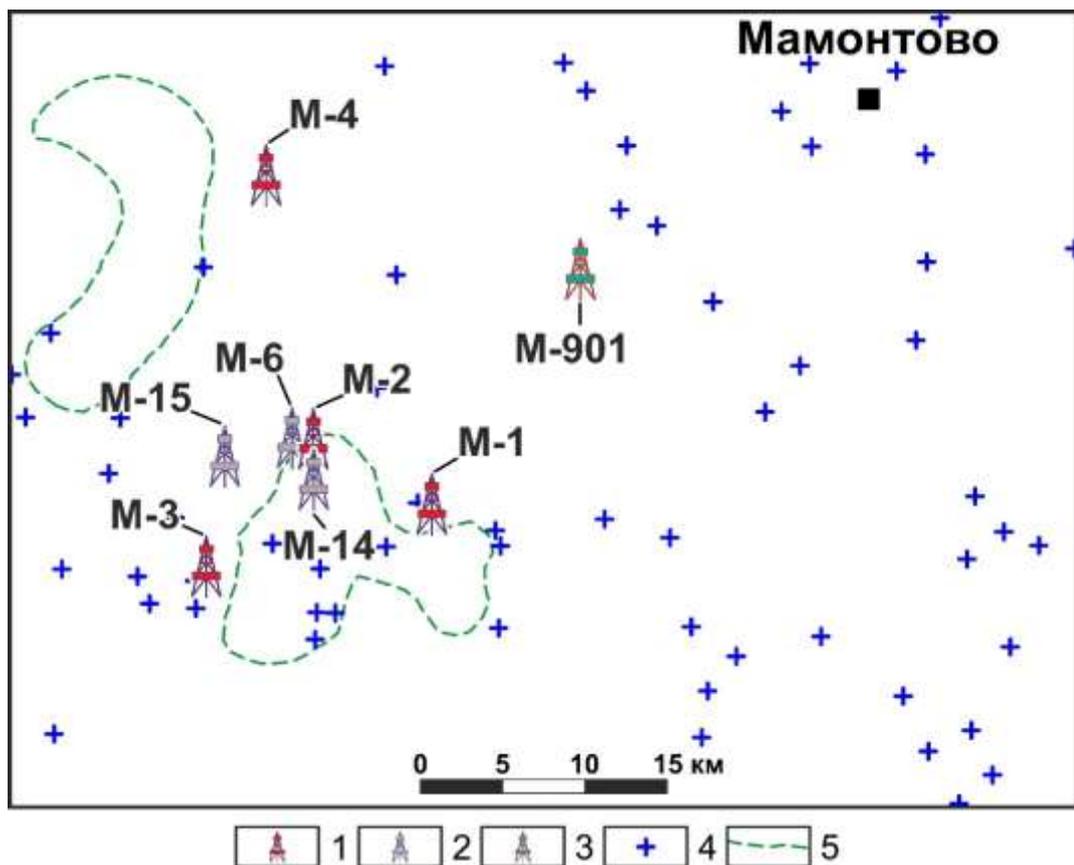


Рисунок 11 – Карта фактического материала.

Условные обозначения: 1 – новые разрезы скважин, изученные автором; 2 – скважины разных лет с испытаниями в интервале баженовской свиты; 3 – ранее изученный в ИНГГ СО РАН разрез [Эдер и др., 2022]; 4 – скважины, для которых были проинтерпретированы данные ГИС; эти результаты использованы в картопостроении; 5 – границы положительных тектонических элементов III порядка [Конторович и др., 2001].

Выбранные разрезы характеризуются представительным набором геолого-геофизической информации включая: инклинометрию, термобарические условия, материалы геофизических исследований скважин, данные об увязке керна, результаты испытаний на приток. В скважине М-1 керновым материалом охарактеризовано 95% интервала баженовской свиты, в скважинах М-3 и М-4 – нижняя и верхняя части разреза соответственно. В скважине М-2 образцами керна баженовская свита охарактеризована полностью, но в рамках лабораторных исследований изучена ее средняя и верхняя части. Ввиду сильной неоднородности отложений отбор образцов производился каждые 0.2-0.4 м (всего было отобрано 313 дезинтегрированных образцов), что позволило с высокой степенью детальности изучить разрез свиты. В каждой точке образцы были отобраны в объеме, достаточном для всего спектра исследований, включающего в себя проведение петрофизических экспериментов, комплекс методов для определения химического состава пород, а также пиролитических характеристик содержащегося в них органического вещества.

Лабораторные определения пористости выполнялись в лаборатории петрофизики научно-лабораторного центра АО «Геологика» (г. Новосибирск) в соответствии с методикой GRI, модифицированной для высокоуглеродистых карбонатно-глинисто-кремнистых образцов баженовской свиты. Для изучения состава пород были проведены рентгено-флуоресцентный анализ и лабораторные определения форм железа и серы образцов (метод «мокрой химии»). Пересчет химического состава на минеральный проведен по методике О.М. Розена с соавторами [2000]. На основе полученных данных с использованием классификации [Конторович и др., 2016] были определены названия пород. Определение параметров  $S_1$ ,  $S_2$ , PI, HI,  $T_{max}$ , TOC проводилось в рамках пиролитических исследований. Изучение структурно-минералогических особенностей образцов 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. Широкое комплексирование методов определяется сильной изменчивостью состава, тонкой структурой пород бажендовской свиты и является необходимым, поскольку по отдельности ни один из методов не дает полного и объективного представления о свойствах этих отложений. Объемы выполненных исследований и исполнители приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Типы лабораторных исследований и объемы выполненных работ

<b>Тип исследования</b>	<b>Количество изученных образцов</b>	<b>Исполнитель</b>	<b>Организация</b>
Определение пористости образцов	313	Саитов Р.М.	АО «Геологика», лаборатория петрофизики
Рентгено-флуоресцентный анализ	180	к.т.н. Карманова Н.Г.	ЦКП МИИ СО РАН, лаборатория рентгено-спектральных методов анализа
Определение форм железа и серы	180	Горчукова Л.М., Фоминых И.М.	ЦКП МИИ СО РАН, лаборатория изотопно-аналитической геохимии
Пиролитические исследования	233	к.г.-м.н. Долженко К.В.	ИНГГ СО РАН, лаборатория геохимии нефти и газа
Сканирующая электронная микроскопия	101	к.г.-м.н. Фомин М.А., Саитов Р.М.	ЦКП МИИ СО РАН, лаборатория рентгено-спектральных методов анализа
Поляризационная микроскопия	125	к.г.-м.н. Замирайлова А.Г., Саитов Р.М.	ИНГГ СО РАН

Для определения окислительно-восстановительных условий образования пород использовались значения степени пиритизации железа (СП) [Berner,

Raiswell, 1988], которые рассчитывались по формуле:  $СП = Fe_{\text{пир}} / (Fe_{\text{пир}} + Fe_{\text{reactive}})$ . Принимается, что значения  $СП < 0.45$  характеризуют окислительные условия,  $0.45 - 0.75$  – промежуточные,  $> 0.75$  – высоковосстановительные. Для установления соотношения биохемой к терригенной составляющей использовалось отношение  $SiO_2/Al_2O_3$ . В связи с тем, что кремнистый материал в баженовской свите рассматривается как преимущественно биохемой, а глинистый – как терригенный, было изучено распределение значений отношений  $SiO_2/Al_2O_3$  по разрезу. Для оценки влияния палеорельефа дна Западно-Сибирского моря был выполнен палеоструктурный анализ на основе построенной автором карты толщин баженовской свиты.

### *Петрофизические исследования керна*

При подсчете запасов нефти баженовской свиты исследователи в первую очередь сталкиваются с проблемой достоверного определения основных петрофизических свойств ультранизкопроницаемых сланцевых пород. Применение стандартных общепринятых методик определения пористости (ГОСТ 26450.1-85 «Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением»; газовые пикнометры по типу AP-608 (Coretest Systems Inc.) и ПИК-ПП (АО «Геологика»)) для геометризованных образцов таких пород затруднено в связи с ультранизкими значениями проницаемости и высоким содержанием органического вещества. Поэтому в последние годы все больше внимания уделяется разработке новых методов и подходов к оценке пористости и флюидонасыщенности таких отложений [Горшков, 2017; Калмыков, Балущкина, 2017; Конторович и др., 2018; Глотов и др., 2022]. В рамках настоящего исследования лабораторные определения пористости проведены в соответствии с методикой GRI, модифицированной для высокоуглеродистых карбонатно-глинисто-кремнистых образцов баженовской свиты [Саитов, Горшков, 2022; Горшков, Саитов, 2023].

В основе предложенной методики лежит метод GRI (Gas Research Institute), разработанный в Соединенных Штатах Америки для определения петрофизических свойств сланцевых коллекторов [Luffel et al., 1995], адаптированный для карбонатно-глинисто-кремнистых пород баженовской свиты. Согласно метода GRI, образцы керна измельчаются, а затем просеиваются для получения частиц одинакового размера. Увеличение площади поверхности образца керна за счет дробления позволяет сократить время эксперимента и добиться полного проникновения флюида при определении объема минерального скелета. Также данный подход позволяет использовать буровой шлам в качестве объекта исследования. Основными недостатками метода GRI является проведение экспериментов в условиях, близких к атмосферным: низкие поровые давления менее 0.7 МПа и отсутствие горного (обжимного) давления [Сайтов, Горшков, 2022; Горшков, Сайтов, 2023].

Методика определения пористости баженовской свиты, разработанная в лаборатории петрофизики научно-лабораторного центра АО «Геологика», предполагает расчет газонасыщенной пористости образцов (в состоянии естественной насыщенности) и открытой пористости (после экстракции), который производится на основе объемной и минералогической плотностей. Минералогическая плотность изученных в диссертации образцов определялась на основе газоволюметрического метода с использованием фракции 1 – 2 мм. Объемная плотность образцов в состоянии естественной насыщенности – на основе газоволюметрического метода на фрагментах полноразмерного керна (диаметром 70 – 110 мм и высотой 20 – 40 мм) и модифицированного метода жидкостенасыщения (размер фракции 2 – 5 мм или > 5 мм). Определение объемной плотности двумя независимыми друг от друга способами и последующий расчет среднего значения связаны со сложностью расчета объема дезинтегрированных образцов керна [Горшков, Сайтов, 2023]. Изучение емкостных свойств пород было выполнено коллективом инженеров лаборатории петрофизики научно-лабораторного центра АО «Геологика» под руководством Сайтова Р.М.

### *Определение химического состава пород*

Химический анализ пород методом рентгенофлуоресцентного анализа выполнен на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP (Thermo Electron Corporation) в лаборатории рентгено-спектральных методов анализа «Центра коллективного пользования научным оборудованием много-элементных и изотопных исследований СО РАН» (ЦКП МИИ СО РАН) к.т.н. Кармановой Н.Г. Погрешность определения не превышает таковую для второй категории точности по ГОСТ 41-08-205-99. Анализ содержания в породах серы сульфидной и сульфатной, а также форм железа выполнен методом мокрой химии в лаборатории изотопно-аналитической геохимии ЦКП МИИ СО РАН Л.М. Горчуковой и И.М. Фоминых.

### *Пиролитические исследования*

Определение параметров органического вещества ( $S_1$ ,  $S_2$ , TOC, HI, PI,  $T_{max}$ ) было выполнено в лаборатории геохимии нефти и газа ИНГГ СО РАН научным сотрудником к.г.-м.н. К.В. Долженко на пиролизаторе Source Rock Analyzer (SRA, Weatherford Laboratories) в режиме TPH-TOC (Total Petroleum Hydrocarbon – Total Organic Carbon) без доступа кислорода в процессе пиролиза с двукратным выделением углеводородов (УВ), с последующим окислением и расчетом содержания органического углерода.

### *Расчет минерального состава*

Для пересчета химического состава пород на минерально-компонентный в настоящей работе использовалась программа MINLITH, которая построена на использовании последовательности команд типа «macros» в системе Excel 5.0 Microsoft, разработанная О.М. Розеном с соавторами [Розен, Нистратов, 1984; Розен и др., 2000]. Пересчет на минеральный состав осуществляется путем последовательного решения отдельных задач. В первую очередь вычисляются содержания аксессуарных и второстепенных компонентов по стехиометрическим

составам, затем производится расчет алюмосиликатов и гиббсита на основании распределения алюминия между соответствующими минералами. По остаточным значениям химических компонентов вычисляются содержания силикатов, окислов и карбонатов в соответствии с избытком или недостатком компонентов. Концентрации органического вещества рассчитываются на основе современных содержаний органического углерода (ТОС). По результатам пересчета результатов химических анализов каждому образцу присвоено название класса и подкласса пород, согласно принятой в ИНГГ СО РАН классификации [Конторович и др., 2016]. Пересчет химического состава пород на минеральный проводился старшим научным сотрудником лаборатории седиментологии ИНГГ СО РАН к.г.-м.н. А.Г. Замирайловой и ведущим научным сотрудником лаборатории проблем геологии, разведки и разработки месторождений трудноизвлекаемой нефти ИНГГ СО РАН к.г.-м.н. М.А. Фоминым.

#### *Петрографические исследования*

Изучение структурно–минералогических особенностей пород осуществлялось методом поляризационной микроскопии (Olympus BX51). Петрографические исследования были направлены на уточнение морфологии и состава компонентов пород. Шлифы были изготовлены в Центре геологических коллекций ИНГГ СО РАН Сериковым И.Н.

Матрица пород, насыщенных органическим веществом, часто непрозрачна, и ее петрографический анализ методом оптической микроскопии недостаточно информативен. В этой связи классические петрографические исследования пород сочетались с методом сканирующей электронной микроскопии (микроскоп MIRA 3 LMU (Tescan Ltd) с системами микроанализа Aztec Energy / INCA Energy 450+ XMax 50+ и Inca Wave 500 (Oxford Instruments Ltd), выполненными в лаборатории рентгено-спектральных методов анализа ЦКП МИИ СО РАН. В результате этой работы был изучен состав отдельных минералов, включений, остатков скелетов организмов, уточнены формы их нахождения (в том числе органического

вещества); обнаружены остатки известковых наннофоссилий (кокколитофоридовых водорослей); произведена оценка емкостных свойств пород; а также определена микроструктура и микротекстура образцов. Образцы для исследований подготовлены ведущим научным сотрудником лаборатории проблем геологии, разведки и разработки месторождений трудноизвлекаемой нефти ИНГГ СО РАН к.г.-м.н. М.А. Фоминым и техником Центра геологических коллекций ИНГГ СО РАН Сериковым И.Н.

### *Геофизические исследования скважин и картопостроение*

В ходе работы для изучения физических свойств пород и расчленения разреза был использован комплекс методов геофизических исследований скважин, включающий в себя зонды кажущегося электрического сопротивления (GZ1, GZ2, GZ3, GZ4, GZ5), микрозонды (МБК, МПЗ, МГЗ), боковой каротаж (БК), индукционный каротаж (ИК), гамма каротаж (ГК), плотностной гамма-гамма каротаж (ГГК-П), нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам малый (НКТм) и большой (НКТб) зонды, кривую водородосодержания (W), а также акустический каротаж (АК). Эти виды каротажа являются наиболее информативными для выделения и расчленения разрезов баженовской свиты.

Сопоставление результатов аналитических исследований керна и материалов ГИС, выполнено в российском программном пакете GeoOffice Solver, разработанном специалистами ОАО «НПЦ «Тверьгеофизика». Структурная карта по подошве баженовской свиты и карта ее толщин были построены диссертантом в программных пакетах по созданию и преобразованию численных моделей геолого-геофизических поверхностей Surfer (Golden Software) и в приложении GridMaster (ИНГГ СО РАН) на основе результатов расчленения разрезов юры и мела в 75 скважинах. Оформление карт и других рисунков выполнено в программном пакете CorelDraw.

### ГЛАВА 3. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Баженовская свита характеризуется неоднородностью состава как с глубиной, так и по латерали [Коробова и др., 2015; Эдер и др., 2016; Эдер и др., 2021; Хотылев и др., 2021, Эдер и др., 2022; и др.]. Многими исследователями убедительно обоснована связь между литологическим составом свиты и локализацией в ней приточных интервалов [Немова и др., 2010; Немова, 2012; Балущкина и др., 2014; Калмыков, Балущкина, 2017; Немова, Панченко, 2017; Макарова и др., 2018; Недоливко, Перевертайло, 2019 и др.]. В связи с этим в диссертационной работе проведено изучение состава баженовской свиты в новых разрезах с целью определения закономерностей его изменений, выявления процессов вторичных преобразований пород, восстановления и уточнения условий седиментации, обоснования наличия продуктивных интервалов.

Ниже приводятся результаты изучения литологического состава баженовской свиты и перекрывающих её отложений в четырех изученных разрезах в пределах Малобалыкского, Западно-Малобалыкского месторождений и Южно-Тепловской площади (рисунки 12-15) [Фомин и др., 2023]. Определение литологических типов пород было произведено на основе содержания в породах кремнистых, глинистых, карбонатных минералов, а также органического вещества в соответствии с классификацией пород баженовской свиты [Конторович и др., 2016]. В интервале свиты были выделены пачки и слои, проведена их корреляция между изученными разрезами. При выделении пачек автор опирался на литолого-стратиграфические принципы расчленения разрезов, изложенные в работе [Панченко и др., 2016]. Мощность баженовской свиты в изученных разрезах изменяется от 25 до 33 м.

Для расчленения свиты на пачки использовались данные о литологическом составе пород, структурные и текстурные особенности, остатки скелетов организмов, обнаруженные в процессе изучения шлифов и образцов на сканирующем электронном микроскопе, а также физические свойства пород, определенные по результатам геофизических исследований скважин.

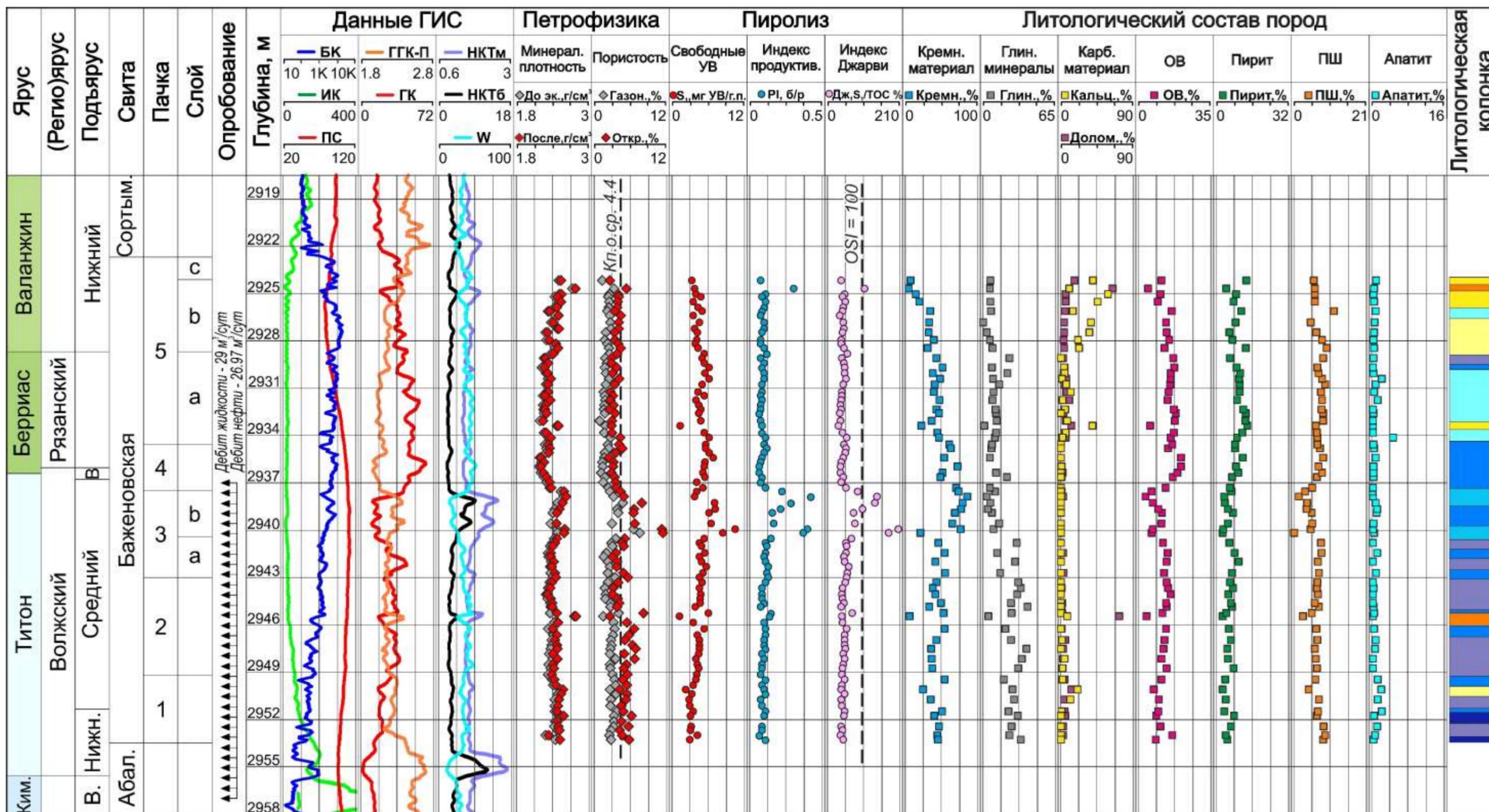


Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

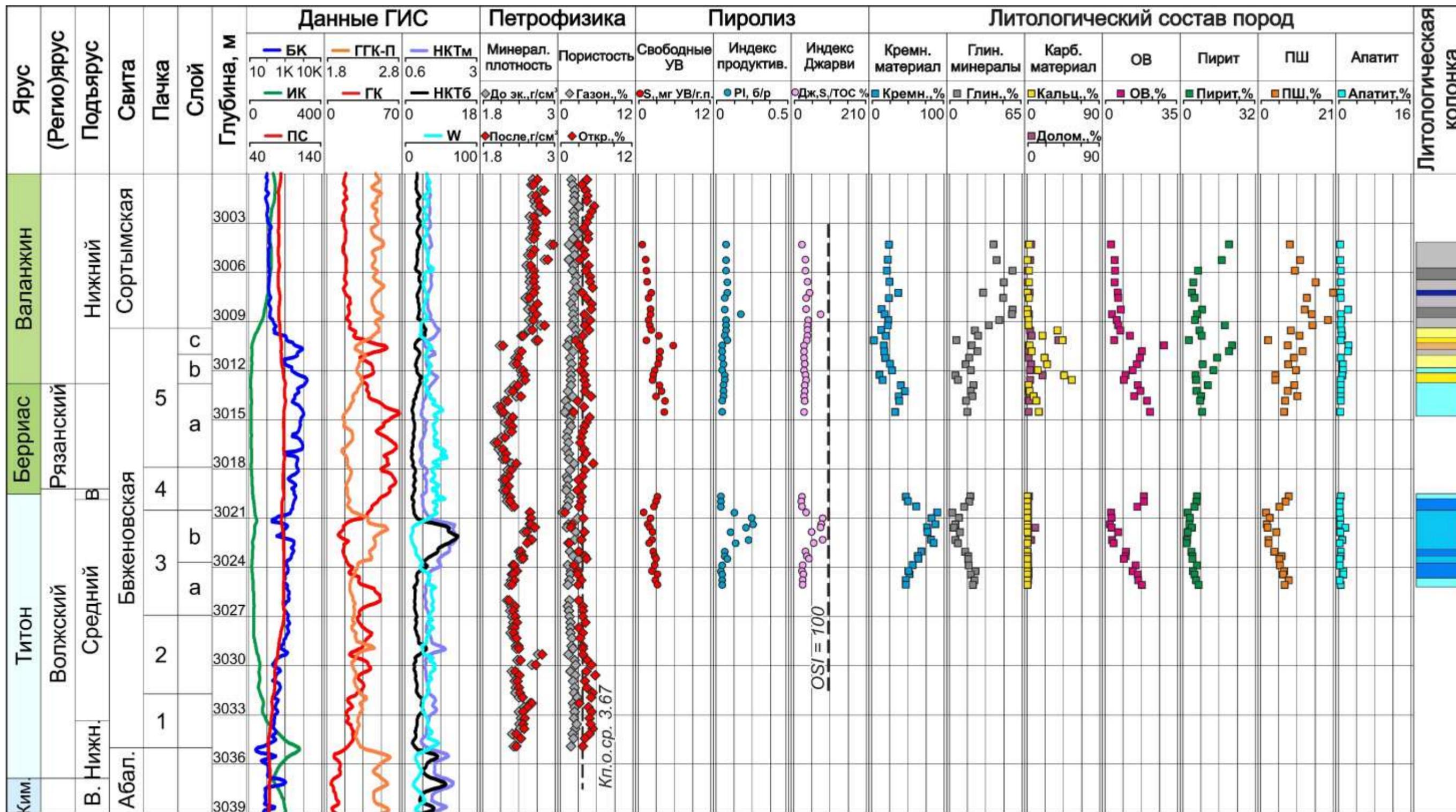


Рисунок 13 – Геолого-геофизический планшет скважины М-2.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

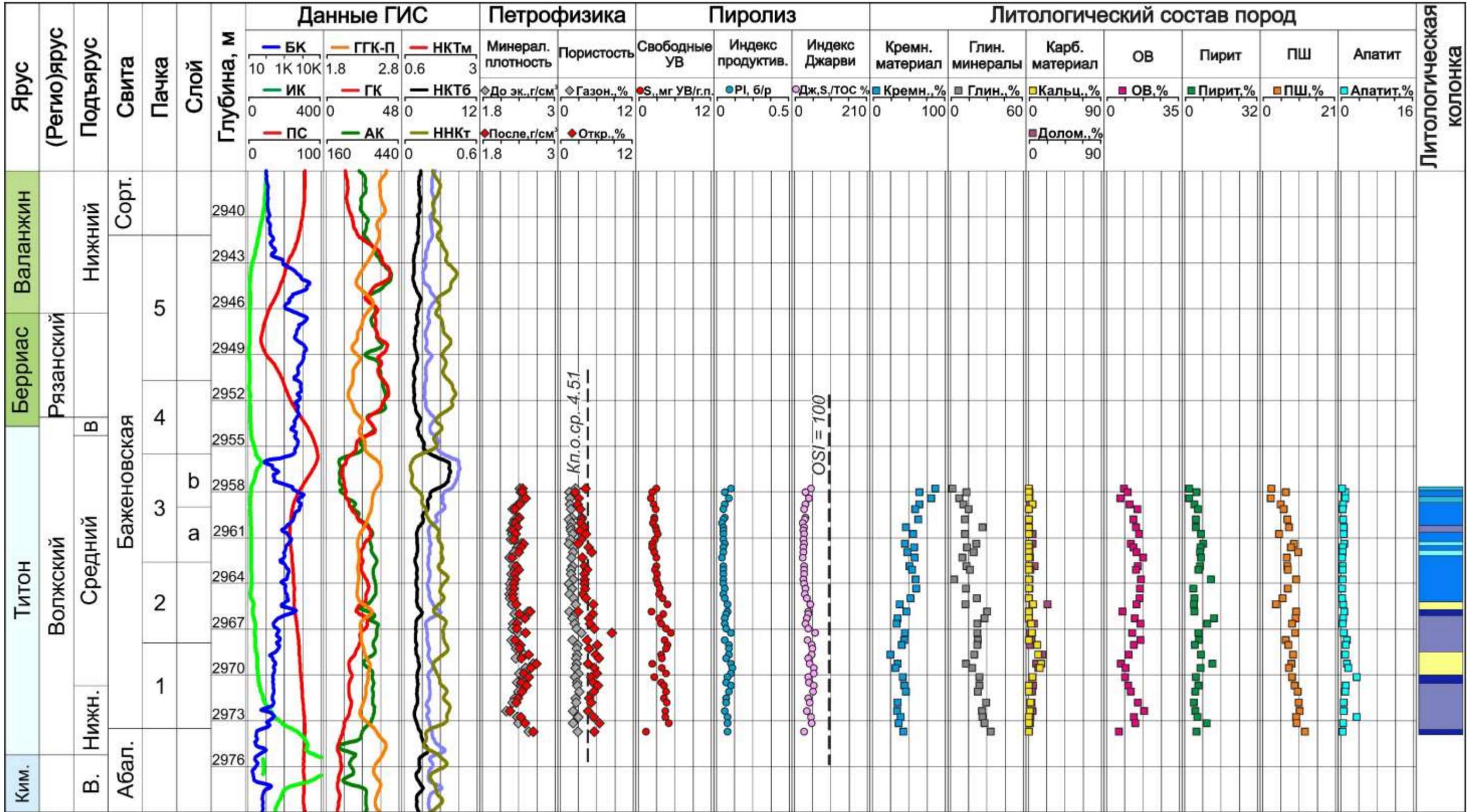


Рисунок 14 – Геолого-геофизический планшет скважины М-3.

Условные обозначения см. на рисунке 12.



В районе исследования баженовские отложения согласно перекрывают абалакскую свиту. Для нее характерно увеличение общей плотности пород за счет практически полного исчезновения в разрезе органического вещества, а также рост количества глинистых минералов. Литологический состав абалакской свиты описан выше в Главе 1. По сравнению с разрезом баженовской свиты значения естественной радиоактивности и удельного электрического сопротивления подстилающих отложений существенно ниже, объемная плотность по ГГК-П и скорости прохождения акустических волн выше. В связи с этим кровля абалакской свиты проводилась по резкому росту значений бокового каротажа, увеличению естественной радиоактивности пород по ГК, уменьшению объемной плотности по ГГК-П (см. рисунки 12-15).

Баженовская свита разделяется на два относительно контрастных интервала: нижнюю (первая, вторая и третья пачки) и верхнюю (четвертая и пятая пачки) толщи. В верхней толще существенно возрастает содержание органического вещества, что влечет за собой изменение физических характеристик разреза. Граница между толщами уверенно проводится по резкому увеличению значений естественной радиоактивности и уменьшению объемной плотности пород. Ряд исследователей связывают её с поверхностью максимального затопления [Филина и др., 1984; Белкин и др., 1985; Брадучан и др., 1986; Коровина и др., 2001; Занин и др., 2011; Немова и др., 2014; Панченко и др., 2015; Эдер и др., 2015; Панченко и др., 2016 и др., Калмыков, 2016]. В работе [Gradstein et al., 2020] показано, что границе соответствует минимальный для периода накопления баженовской свиты уровень моря [Эдер и др., 2022].

Первая пачка в изученных разрезах имеет мощность от 3.3 м до 5.6 м. В ее основании залегают микститы кероген-глинисто-кремнистые. Основную массу породы составляет глинистый и кремнистый материал, а их средние концентрации составляют 25.1 и 38.9 % соответственно. Структура этих пород пелитовая, текстура большинства образцов линзовидно-слоистая (Рисунок 16 – Породы нижней части пачки 1.

а – микстит кероген-глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы, частично карбонатизированным (фотография шлифа) (николи параллельны – ||) (скв. М-3, гл. 2972.74 м); б – микстит глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы (||) (скв. М-1, гл. 2953.26 м); в – микстит глинисто-кремнистый, с пиритизированными скелетами радиолярий (фотография со сканирующего электронного микроскопа) (скв. М-1, гл. 2953.26 м).

). Слоистость подчеркнута тонкими (0.01 – 0.04 мм) линзочками глинисто-кремнистого материала в разной степени обогащенных керогеном и тонкими (0.01 – 0.02 мм) линзочками керогена. Среднее содержание органического вещества составляет 11.0 % (Таблица 4). Встречаются обломки скелетов рыб (в среднем около 1 %) красновато-бурого цвета удлиненной формы (см. Рисунок 16 – Породы нижней части пачки 1.

а – микстит кероген-глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы, частично карбонатизированным (фотография шлифа) (николи параллельны – ||) (скв. М-3, гл. 2972.74 м); б – микстит глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы (||) (скв. М-1, гл. 2953.26 м); в – микстит глинисто-кремнистый, с пиритизированными скелетами радиолярий (фотография со сканирующего электронного микроскопа) (скв. М-1, гл. 2953.26 м).

-Рисунок 17). В некоторых образцах зафиксированы многочисленные пиритизированные сеточки радиолярий конусообразной и округлой формы, пустотное пространство внутри которых занято кремнистым, карбонатным (Рисунок 18 – Пиритизированные скелеты радиолярий различной сохранности в образце нижней части пачки 1.

а – пустотное пространство заполнено карбонатным материалом (скв. М-1, гл. 2951.73 м); б – пустотное пространство заполнено кремнистым материалом (скв. М-3, гл. 2971.08 м).

), либо глинистым материалом (см. Рисунок 16 – Породы нижней части пачки 1.

а – микстит кероген-глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы, частично карбонатизированным (фотография шлифа) (николи параллельны – ||) (скв. М-3, гл. 2972.74 м); б – микстит глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы (||) (скв. М-1, гл. 2953.26 м); в – микстит глинисто-кремнистый, с пиритизированными скелетами радиолярий (фотография со сканирующего электронного микроскопа) (скв. М-1, гл. 2953.26 м).

-Рисунок 18 – Пиритизированные скелеты радиолярий различной сохранности в образце нижней части пачки 1.

а – пустотное пространство заполнено карбонатным материалом (скв. М-1, гл. 2951.73 м); б – пустотное пространство заполнено кремнистым материалом (скв. М-3, гл. 2971.08 м).

). В отдельных образцах наблюдаются радиолярии размером до 0.04 мм, заполненные керогеном, глинисто-кремнистым материалом и оконтуренные кальцитом (1 – 2 %). В некоторых образцах обнаружены обломки карбонатного материала, вероятно, связанного с раковинами двустворчатых моллюсков, а также единичные известковые цисты динофлагеллят (кальцисферы). Пирит (2.8-12.1 %, в среднем 5.6 %) (см. Таблица 4) встречается в виде мелкой сыпи, распространен беспорядочно. Зафиксированы редкие находки кристаллов барита и сфалерита.

В верхней половине пачки в некоторых образцах незначительно увеличивается количество карбонатного материала, что позволяет выделить микститы карбонатно-кремнистые и кремнисто-глинисто-карбонатные с линзовидно-слоистой текстурой, хорошо различимой в шлифах. Карбонатное вещество здесь, вероятно, является вторичным и замещает скелеты радиолярий. Также в интервале пачки встречаются единичные прослои силицитов керогеновых, в составе которых преобладает кремнистый материал (Рисунок 19 – Образцы верхней части пачки 1.

а – микстит кремнисто-глинисто-карбонатный с карбонатным материалом (николи скрещены – ×) (скв. М-1, гл. 2950.06 м); б – микстит кремнисто-глинисто-карбонатный с карбонатным материалом (скв. М-1, гл. 2950.06 м); в – карбонатный материал в приближении в микстите кремнисто-глинисто-карбонатном (скв. М-1, гл. 2950.06 м); г – силицит керогеновый с обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета, удлинённой формы (||) (скв. М-1, гл. 2949.45 м).

На каротажных диаграммах пачка 1 представлена более высокими относительно подстилающей абалакской свиты значениями бокового каротажа (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

-Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

). Отмечаются локальные увеличения естественной радиоактивности пород, связанные с повышенными концентрациями ОВ в породах. В целом значения ГК плавно возрастают в интервале пачки, изменяясь от 14 до 30 мкР/ч. Запись нейтронного каротажа в целом спокойная; небольшое увеличение значений наблюдается в верхней части пачки и связано с увеличением в разрезе карбонатной составляющей. Форма кривой ГГК-П также ровная, повышенные значения связаны с более кремнистыми и карбонатными интервалами разреза.

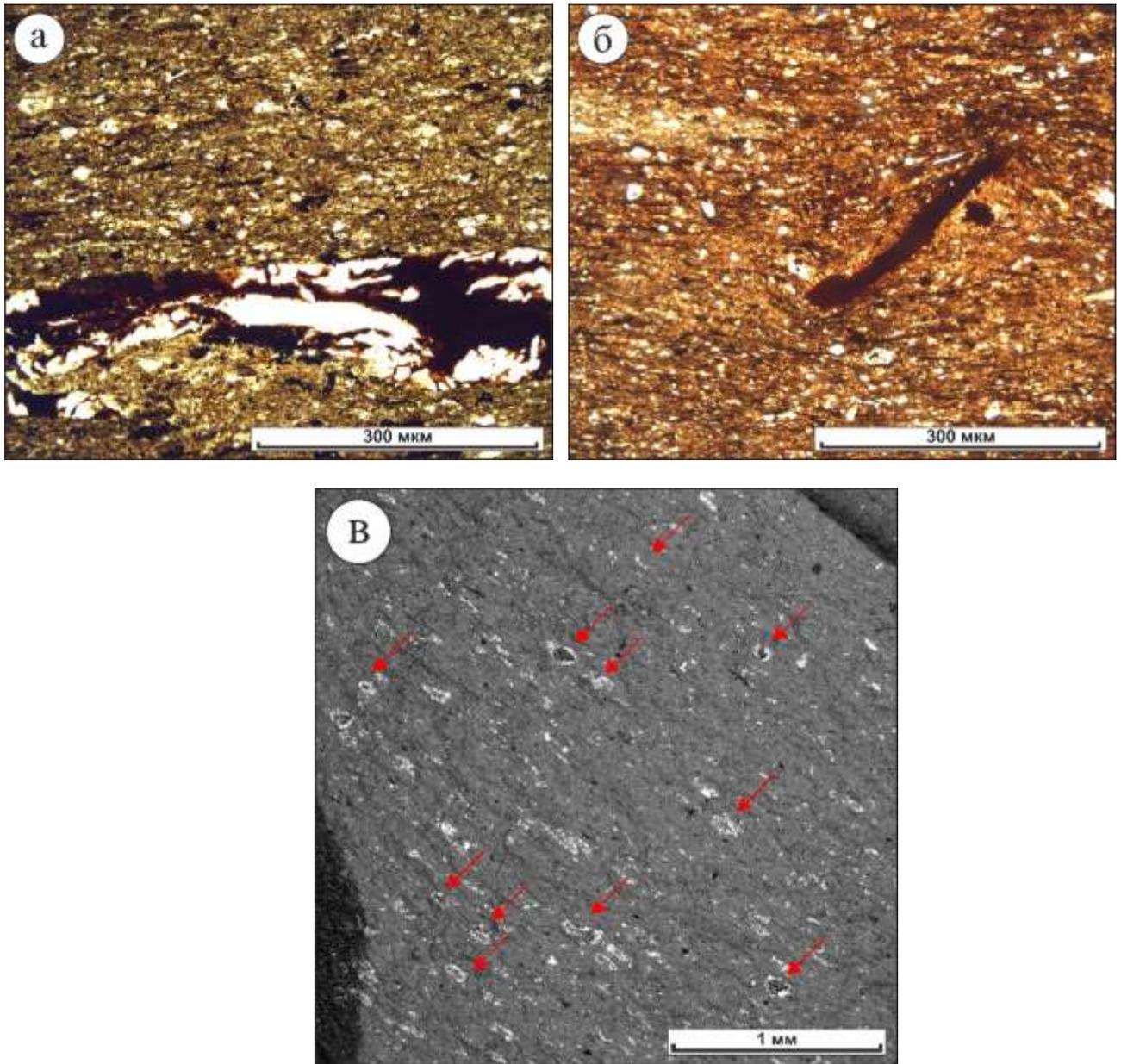


Рисунок 16 – Породы нижней части пачки 1.

а – микстит кероген-глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы, частично карбонатизированным (фотография шлифа) (николи параллельны – ||) (скв. М-3, гл. 2972.74 м); б – микстит глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы красновато-бурого цвета, удлиненной формы (||) (скв. М-1, гл. 2953.26 м); в – микстит глинисто-кремнистый, с пиритизированными скелетами радиолярий (фотография со сканирующего электронного микроскопа) (скв. М-1, гл. 2953.26 м).

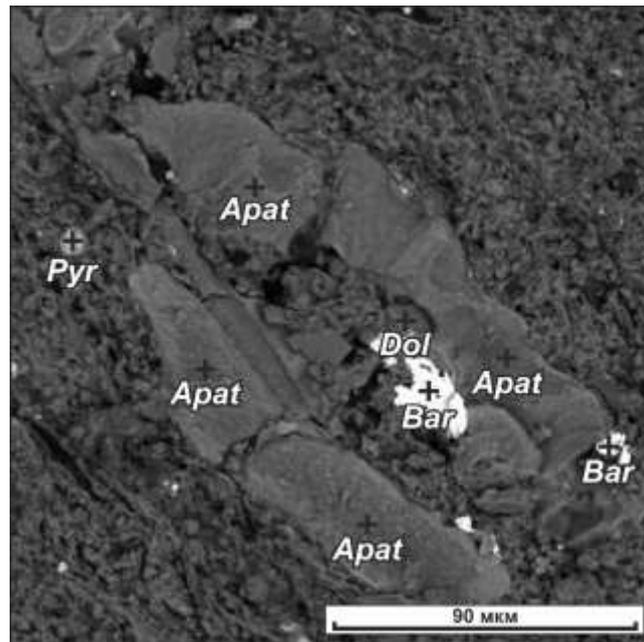


Рисунок 17 – Микстит кероген-глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы (скв. М-3, гл. 2971.08 м).

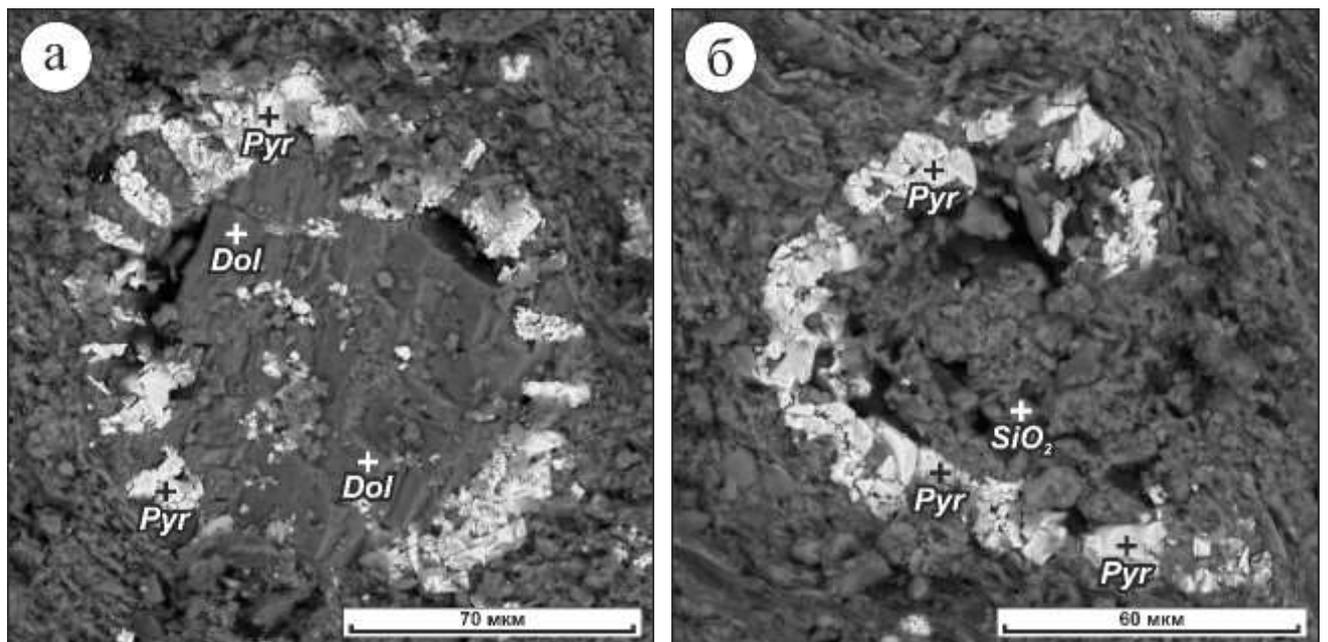


Рисунок 18 – Пиритизированные скелеты радиолярий различной сохранности в образце нижней части пачки 1.

а – пустотное пространство заполнено карбонатным материалом (скв. М-1, гл. 2951.73 м);  
 б – пустотное пространство заполнено кремнистым материалом (скв. М-3, гл. 2971.08 м).

Таблица 4 – Среднее содержание основных породообразующих компонентов.

Пачка	Слой	Кремнистый материал	Сумма глинистых минералов	Сумма карбонатных минералов	ПШ (альбит)	Органическое вещество	Пирит	Апатит
5	с	13.4	22.5	17.3	8.1	19.4	18.2	1.2
	б	20.9	8.7	41.1	7.3	12.3	8.5	1.4
	а	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	б	74.1	9.2	1.1	3.6	7.5	3.9	0.5
	а	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

Вторая пачка является относительно однородным интервалом, сложенным преимущественно микститами кероген-глинисто-кремнистыми, силицитами керогеновыми и микститами кероген-кремнистыми. Структура образцов пелитовая; текстура, как правило, линзовидно-слоистая (Рисунок 20 – Породы пачки 2.

а – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными глинисто-кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2944.60 м); г – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2944.60 м).

). Основная масса пород сложена кремнистым и глинистым материалом, содержание которого варьируется от 5.6 до 59.5 % (в среднем 42.4 %) и от 2.8 до 39.5 % (в среднем 24.2 %) соответственно. Повсеместно в пачке наблюдаются обломки рыб ( $\approx 1$  %). В некоторых образцах зафиксированы редкие пиритизированные скелеты радиолярий конусообразной и округлой форм (см. Рисунок 20 – Породы пачки 2.

а – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными

глинисто-кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2944.60 м); г – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2944.60 м).

-Рисунок 21 – Радиолярии в образцах пачки 2.

а – хорошо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого не заполнено (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – плохо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого частично заполнено органическим веществом (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – пиритизированные скелеты радиолярий в силиците керогеновом, пустотное пространство которых заполнено кремнисто-глинистым веществом (скв. М-3, гл. 2963.70 м); г – пиритизированный скелет радиолярии округлой формы в микстите глинисто-кремнистом, пустотное пространство которого полностью заполнено карбонатным веществом (скв. М-3, гл. 2965.84 м).

), причем в верхней части пачки их количество увеличивается. Как правило, они заполнены глинисто-кремнистым материалом либо органическим веществом (см. Рисунок 21 – Радиолярии в образцах пачки 2.

а – хорошо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого не заполнено (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – плохо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого частично заполнено органическим веществом (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – пиритизированные скелеты радиолярий в силиците керогеновом, пустотное пространство которых заполнено кремнисто-глинистым веществом (скв. М-3, гл. 2963.70 м); г – пиритизированный скелет радиолярии округлой формы в микстите глинисто-кремнистом, пустотное пространство которого полностью заполнено карбонатным веществом (скв. М-3, гл. 2965.84 м).

). Содержание карбонатного вещества для большей части пород не превышает 9.3 %. В основном, оно представлено в виде обломков раковин двустворчатых моллюсков. Количество таких обломков в нижней части превышает их содержание в верхней половине пачки. Изредка карбонатный материал заполняет пустотное пространство скелетов радиолярий (см. Рисунок 21 – Радиолярии в образцах пачки 2.

а – хорошо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого не заполнено (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – плохо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого частично заполнено органическим веществом (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – пиритизированные скелеты радиолярий в силиците керогеновом, пустотное пространство которых заполнено кремнисто-глинистым веществом (скв. М-3, гл. 2963.70 м); г – пиритизированный скелет радиолярии округлой формы в микстите глинисто-кремнистом, пустотное пространство которого полностью заполнено карбонатным веществом (скв. М-3, гл. 2965.84 м).

). Обнаружены редкие известковые диноцисты (кальциферы). Обломочная составляющая (1-5 %) преимущественно кремнистого состава и размерами 0.01 – 0.03 мм распространена неравномерно (см. Рисунок 20 – Породы пачки 2.

а – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными глинисто-кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (скв. М-1,

гл. 2944.60 м); г – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2944.60 м).

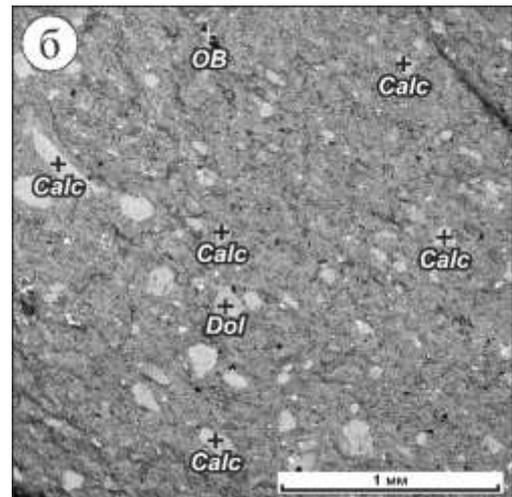
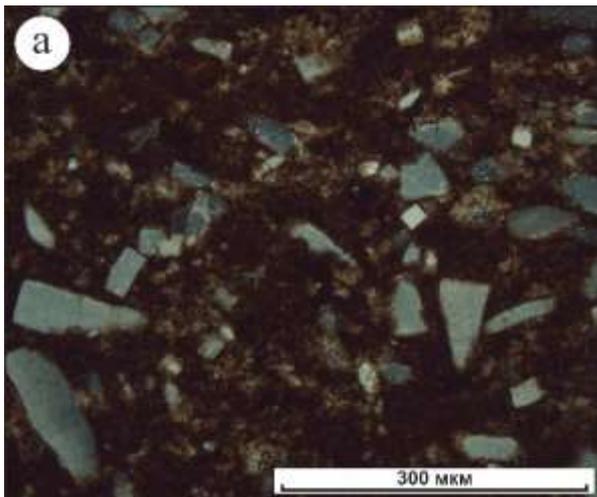
). Пирит представлен в виде мелкой сыпи, стяжений, иногда прослоев. Его содержание варьирует в диапазоне от 2.8 до 12.7 %, при среднем значении – 6.2 %. Органическое вещество насыщает глинисто-кремнистый материал, а также заполняет пустоты радиолярий (см. Рисунок 20 – Породы пачки 2.

а – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными глинисто-кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2944.60 м); г – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2944.60 м).

-Рисунок 21 – Радиолярии в образцах пачки 2.

а – хорошо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого не заполнено (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – плохо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого частично заполнено органическим веществом (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – пиритизированные скелеты радиолярий в силиците керогеновом, пустотное пространство которых заполнено кремнисто-глинистым веществом (скв. М-3, гл. 2963.70 м); г – пиритизированный скелет радиолярии округлой формы в микстите глинисто-кремнистом, пустотное пространство которого полностью заполнено карбонатным веществом (скв. М-3, гл. 2965.84 м).

). Его содержание в породах второй пачки достигает 16.3 % при среднем значении 13.2 % (см. Таблица 4).



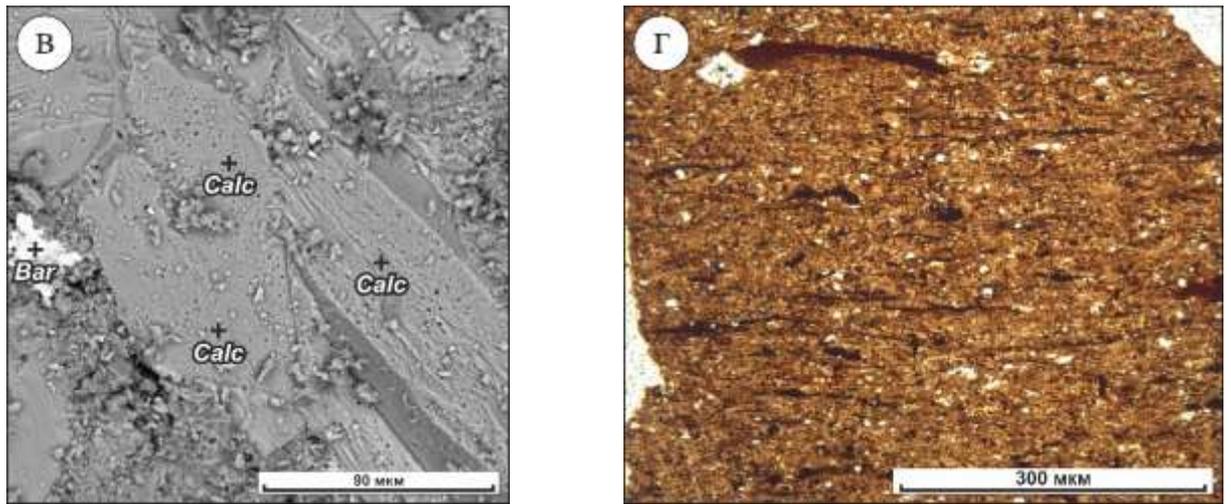
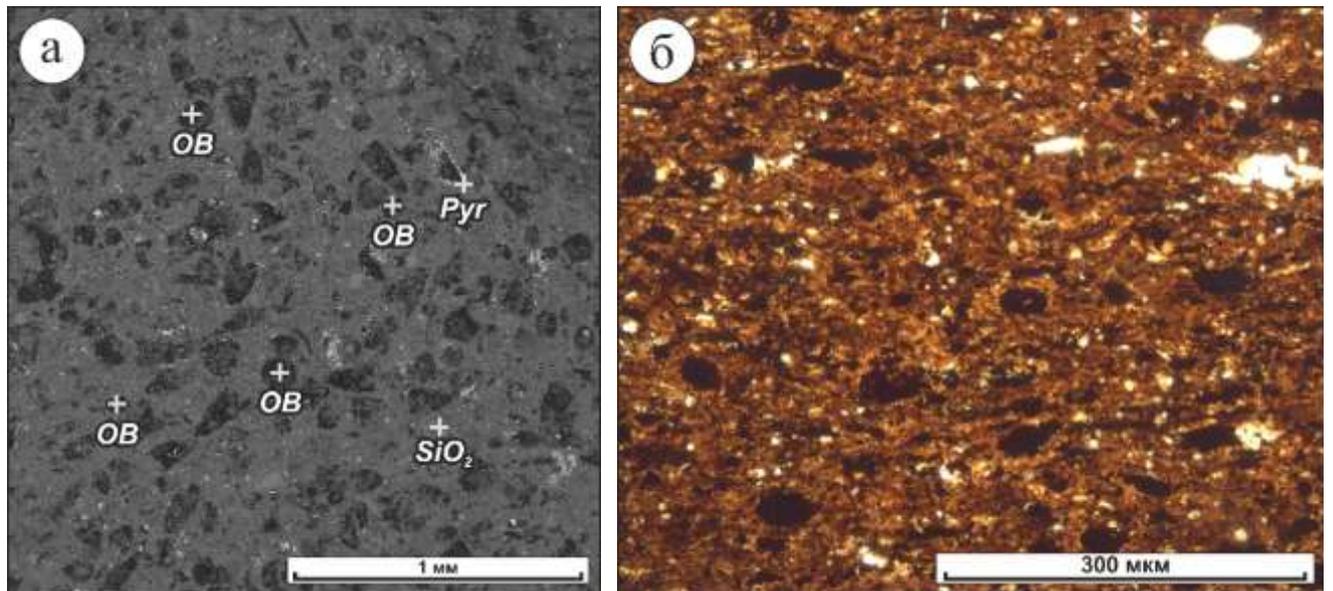


Рисунок 19 – Образцы верхней части пачки 1.

а – микстит кремнисто-глинисто-карбонатный с карбонатным материалом (николи скрещены – ×) (скв. М-1, гл. 2950.06 м); б – микстит кремнисто-глинисто-карбонатный с карбонатным материалом (скв. М-1, гл. 2950.06 м); в – карбонатный материал в приближении в микстите кремнисто-глинисто-карбонатном (скв. М-1, гл. 2950.06 м); г – силицит керогеновый с обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета, удлиненной формы (||) (скв. М-1, гл. 2949.45 м).



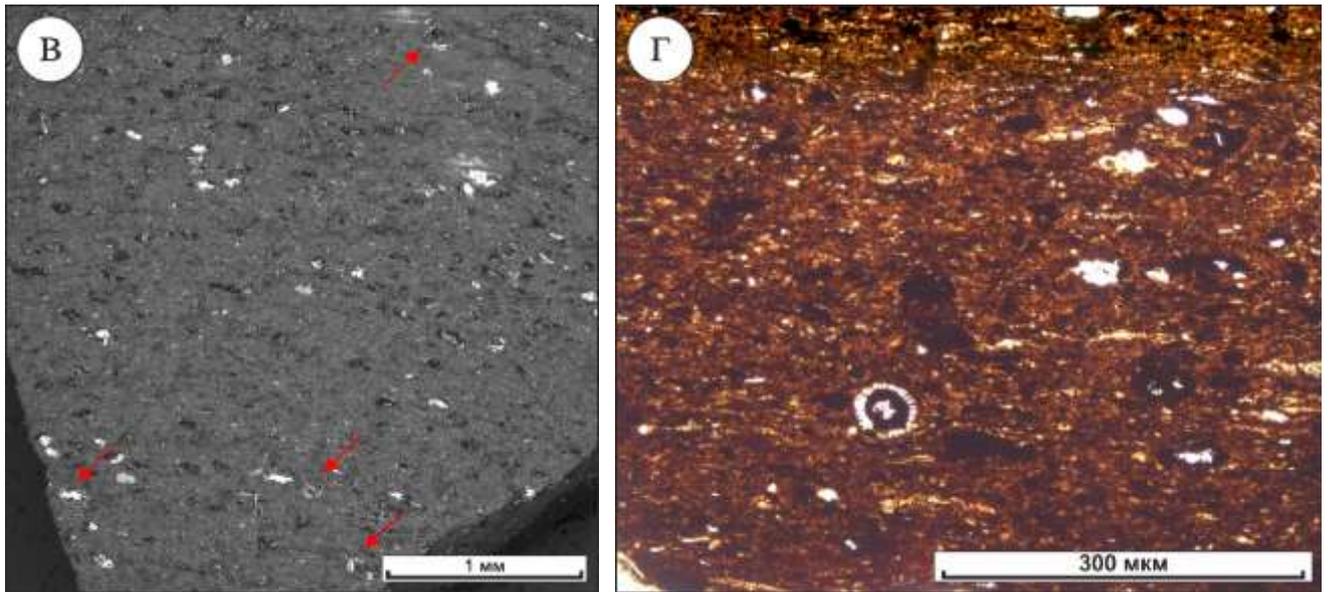


Рисунок 20 – Породы пачки 2.

а – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – силицит кероген-глинистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными глинисто-кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (скв. М-1, гл. 2944.60 м); г – микстит кероген-глинисто-кремнистый со скелетами радиолярий, изредка пиритизированными, заполненными кремнистым материалом или органическим веществом (керогеном) (||) (скв. М-1, гл. 2944.60 м).

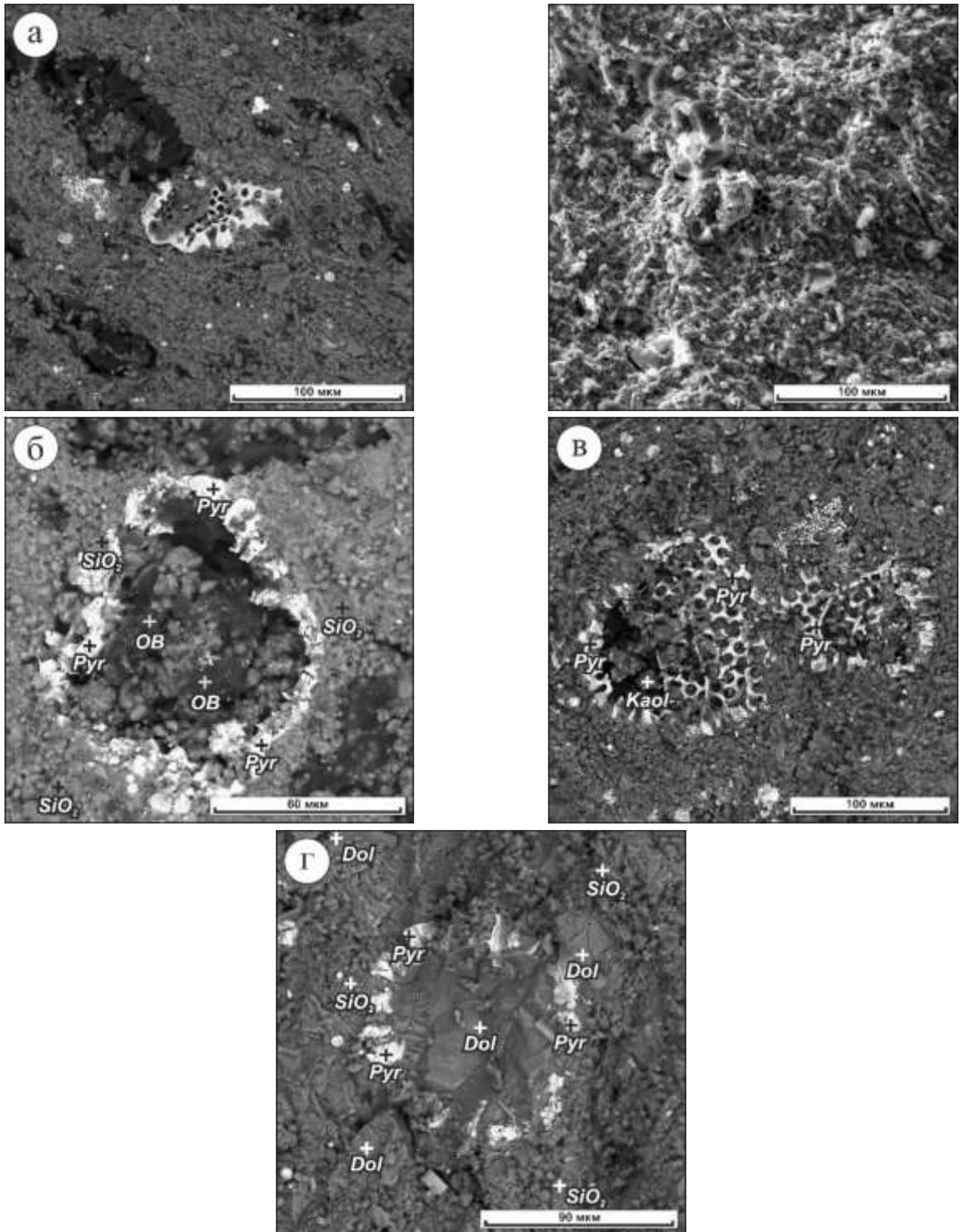


Рисунок 21 – Радиоларии в образцах пачки 2.

а – хорошо сохранившийся пиритизированный скелет радиоларии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого не заполнено (скв. М-1, гл. 2945.24 м); б – плохо сохранившийся пиритизированный скелет радиоларии в силиците кероген-глинистом, пустотное пространство которого частично заполнено органическим веществом (скв. М-1, гл. 2945.24 м); в – пиритизированные скелеты радиоларий в силиците керогеновом, пустотное пространство которых заполнено кремнисто-глинистым веществом (скв. М-3, гл. 2963.70 м); г – пиритизированный скелет радиоларии округлой формы в микстите глинисто-кремнистом, пустотное пространство которого полностью заполнено карбонатным веществом (скв. М-3, гл. 2965.84 м).

Помимо вышеназванных литологических разностей, в интервале пачки обнаружены прослой силицитов кероген-глинистых, микситов глинисто-кремнистых. По всем описанным выше характеристикам они схожи с основными типами пород второй пачки. Их главное отличие заключается в незначительном увеличении глинистой составляющей (для силицитов кероген-глинистых) и уменьшении содержания органического вещества (для микситов глинисто-кремнистых) (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – миксит глинисто-кремнистый; 4 – миксит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – миксит кероген-кремнистый; 6 – миксит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – миксит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – миксит керогеновый.

-Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

).

В центральной части пачки отмечено увеличение содержания карбонатного вещества (Рисунок 22 – Породы центральной части пачки 2.

а – доломит мелкокристаллический, апорадиоляритовый (слева – ||, справа – ×) (скв. М-1, гл. 2945.44 м); б – миксит кероген-карбонатно-кремнистый, апорадиоляритовый (слева – ||, справа – ×) (скв. М-3, гл. 2965.33 м); в – миксит кероген-карбонатно-кремнистый, апорадиоляритовый (скв. М-3, гл. 2965.33 м).

), которое в изученных образцах представлено, в основном, доломитом. В породах наблюдаются реликты радиолярий: кремнистый материал скелетов некоторых из них замещен пиритом, а их внутреннее пространство заполнено доломитом (см. Рисунок 22 – Породы центральной части пачки 2.

а – доломит мелкокристаллический, апорадиоляритовый (слева – ||, справа – ×) (скв. М-1, гл. 2945.44 м); б – миксит кероген-карбонатно-кремнистый, апорадиоляритовый (слева – ||, справа – ×) (скв. М-3, гл. 2965.33 м); в – миксит кероген-карбонатно-кремнистый, апорадиоляритовый (скв. М-3, гл. 2965.33 м).

). Для этих образцов зафиксировано значительное уменьшение содержания глинистых минералов, а также кремнистого вещества. Увеличение карбонатной составляющей в этой части баженовской свиты объясняется распространением на этом уровне комплекса двустворчатых моллюсков с аммонитами [Панченко и др., 2016].

В целом вторая пачка близка по составу к первой, однако здесь наблюдаются несколько повышенные концентрации органического вещества и пирита (см. Таблица 4). Ее мощность в изученных разрезах составляет 4.8 – 6.4 м.

По данным ГИС вторая пачка также представляет собой однородный интервал: значения естественной радиоактивности и объемной плотности пород в её интервале практически не изменяются (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1. Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

-Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

). Удельное электрическое сопротивление незначительно увеличивается, а значения индукционного каротажа уменьшаются вверх по разрезу. Исключения составляют образцы с повышенной карбонатной составляющей, расположенные в центральных частях пачки: для них зафиксировано увеличение плотности и уменьшение значений гамма каротажа.

Третья пачка сложена силицитами и керогеновыми силицитами. В ней зафиксировано максимальное для изученных разрезов содержание кремнистого материала и минимальные концентрации глинистых минералов, полевых шпатов, органического вещества и пирита. Присутствие силицитов в средней части разреза баженовской свиты отмечали многие авторы [Ушатинский, 1981; Нестеров, 1985; Сараев, 1987; Условия формирования..., 1988, Занин, 1999, 2005; Павлова и др., 2013; Эдер и др., 2013 и др.]. Структура образцов пелитовая, текстура, как правило, линзовидно-слоистая (Рисунок 23 – Породы пачки 3.

а – силицит с постепенным замещением основной массы породы на радиоляритовый прослой и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета удлиненной формы в слое «а» (||) (скв. М-4, гл. 2897.06 м); б – прослой на 60–70 % состоящий из раскристаллизованных скелетов радиолярий кремнистого состава в силиците в слое «б» (||) (скв. М-1, гл. 2937.85.

). На основе анализа содержания основных пороодообразующих компонентов и данных ГИС, пачка разделяется на два слоя.

Нижний (3а) представлен преимущественно силицитами керогеновыми, встречаются прослой микститов кероген-глинисто-кремнистых и кероген-кремнистых, а также силицитов. Содержание кремнистого вещества достигает здесь 64.0 %, а глинистых минералов не превышает 29.8 %. Содержание органического вещества и пирита по-прежнему высокое и изменяется от 10.8 до

17.7 % и 4.1 до 9.7 % соответственно. Скелеты радиолярий здесь сравнительно редки (Рисунок 24 – Породы слоя «а» пачки 3.

а – силицит керогеновый с редкими скелетами радиолярий и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2941.40 м); б – микстит кероген-глинисто-кремнистый с редкими скелетами радиолярий и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-3, гл. 2960.31 м); в – плохо сохранившийся пиритизированный фрагмент скелета радиолярии, пустотное пространство которого полностью заполнено кремнистым материалом в силиците (скв. М-4, гл. 2897.06 м).

), а содержание обломков скелетов рыб не превышает 2 % (см. Рисунок 24 – Породы слоя «а» пачки 3.

а – силицит керогеновый с редкими скелетами радиолярий и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2941.40 м); б – микстит кероген-глинисто-кремнистый с редкими скелетами радиолярий и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-3, гл. 2960.31 м); в – плохо сохранившийся пиритизированный фрагмент скелета радиолярии, пустотное пространство которого полностью заполнено кремнистым материалом в силиците (скв. М-4, гл. 2897.06 м).

-Рисунок 25). Карбонатное вещество, содержание которого не превышает 4.6 %, представлено обломками раковин двустворок, а иногда оконтуривает скелеты радиолярий. Обнаружены редкие известковые диноцисты (кальцисферы). Практически повсеместно встречаются обломки скелетов рыб красновато-бурого цвета и, как правило, удлиненной формы. Обломочная составляющая (2 – 4 %) представлена угловатыми зернами кварца размером 0.01 – 0.03 мм, распространенных неравномерно. По данным ГИС нижний слой третьей пачки отчетливо выражен маломощной положительной аномалией естественной радиоактивности и уменьшением плотности пород, связанными с локальным увеличением доли органического вещества в разрезе (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

-Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

).

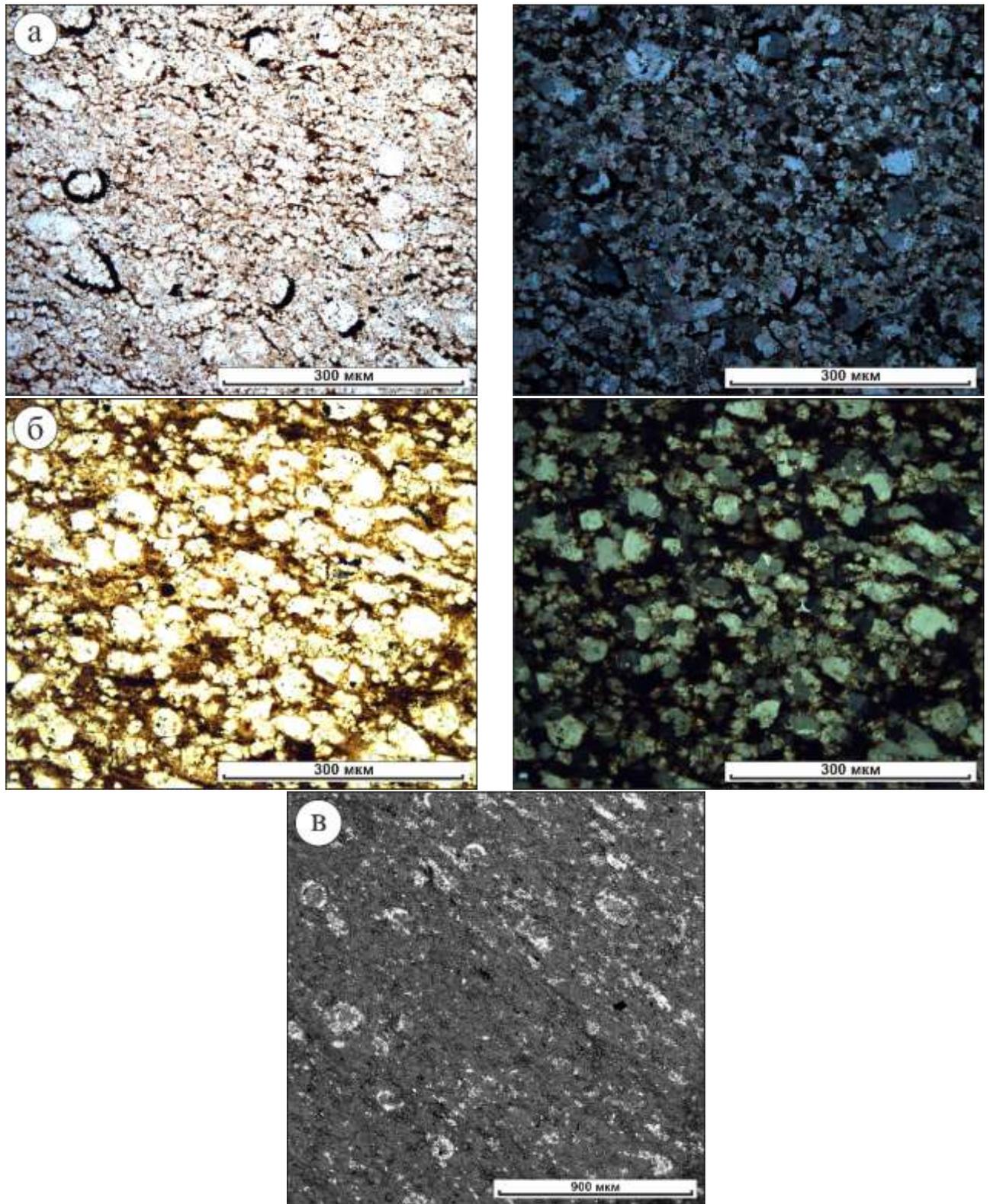


Рисунок 22 – Породы центральной части пачки 2.

а – доломит мелкокристаллический, апорадиоларитовый (слева – ||, справа – ×) (скв. М-1, гл. 2945.44 м); б – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, апорадиоларитовый (слева – ||, справа – ×) (скв. М-3, гл. 2965.33 м); в – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, апорадиоларитовый (скв. М-3, гл. 2965.33 м).

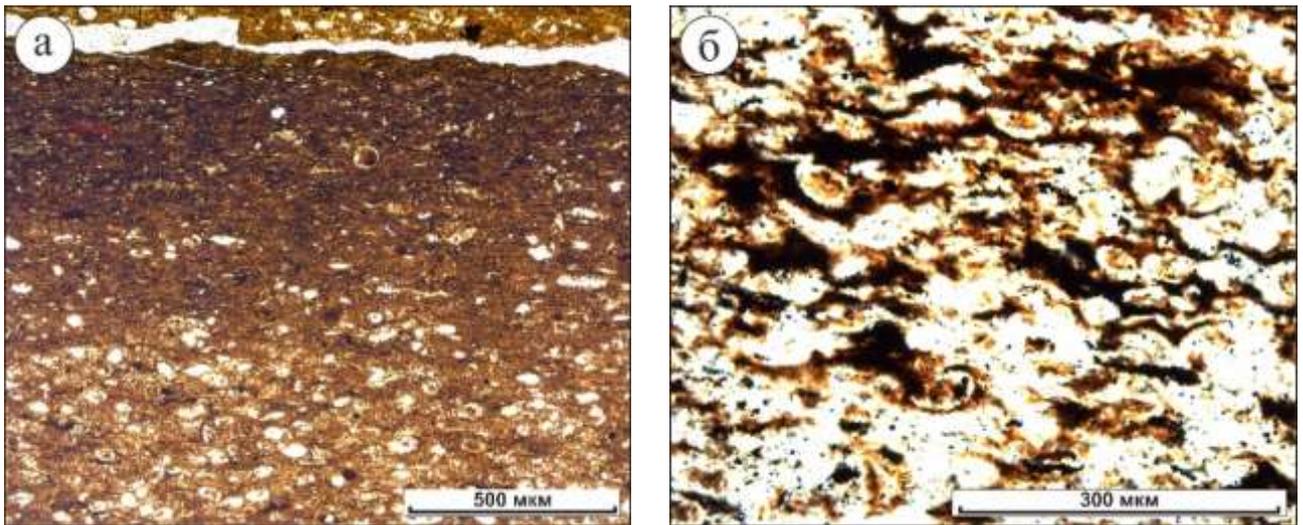


Рисунок 23 – Породы пачки 3.

а – силицит с постепенным замещением основной массы породы на радиоляритовый прослой и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета удлиненной формы в слое «а» (||) (скв. М-4, гл. 2897.06 м); б – прослой на 60–70 % состоящий из раскристаллизованных скелетов радиолярий кремнистого состава в силиците в слое «б» (||) (скв. М-1, гл. 2937.85).

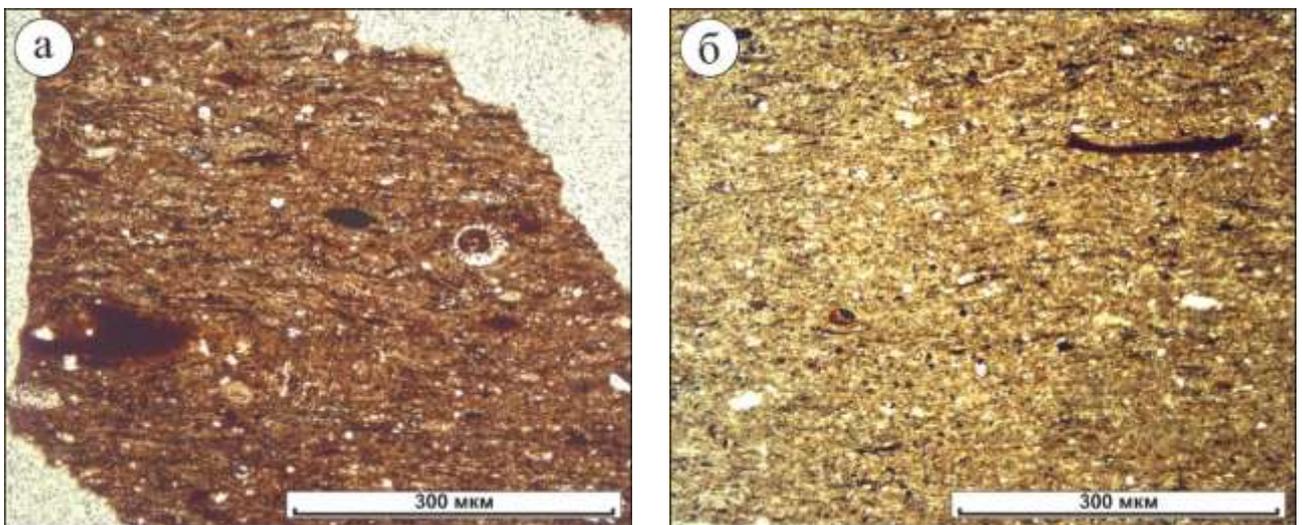


Рисунок 24 – Породы слоя «а» пачки 3.

а – силицит керогеновый с редкими скелетами радиолярий и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2941.40 м); б – микстит кероген-глинисто-кремнистый с редкими скелетами радиолярий и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-3, гл. 2960.31 м); в – плохо сохранившийся пиритизированный фрагмент скелета радиолярии, пустотное пространство которого полностью заполнено кремнистым материалом в силиците (скв. М-4, гл. 2897.06 м).

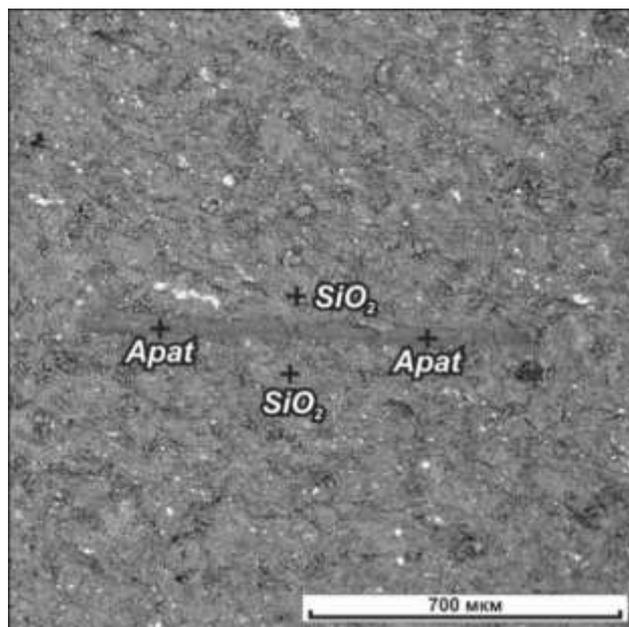


Рисунок 25 – Силицит керогеновый с обломком скелета рабы в слое «а» пачки 3 (скв. М-1, гл. 2939.54 м).

Верхний слой третьей пачки (3b) представлен силицитами и в меньшей степени силицитами керогеновыми. Здесь наблюдаются максимальные для баженовской свиты концентрации кремнистого материала (от 54.8 до 90.3 %, в среднем – 74.1 %) и минимальное содержание глинистых минералов (от 1.5 до 20.7 %, в среднем – 9.2 %), карбонатных минералов (от 0.1 до 10.0 %, в среднем – 1.1 %), полевых шпатов (от 0.1 до 7.1 %, в среднем – 3.6 %), органического вещества (от 2.3 до 13.5 %, в среднем 7.5 %) и пирита (от 1.5 до 7.2 %, в среднем – 3.9 %). Именно в этом интервале повсеместно встречаются скелеты радиолярий, а также наблюдаются прослой с максимальным для свиты их количеством (радиоляриты) (до 70 %) (см. Рисунок 23 – Породы пачки 3.

а – силицит с постепенным замещением основной массы породы на радиоляритовый прослой и обломками скелетов рыб красновато-бурого цвета удлиненной формы в слое «а» (||) (скв. М-4, гл. 2897.06 м); б – прослой на 60–70 % состоящий из раскристаллизованных скелетов радиолярий кремнистого состава в силиците в слое «б» (||) (скв. М-1, гл. 2937.85.

, Рисунок 26 – Породы пачки 3.

а – силицит с радиоляритовым прослоем в слое «б». Наблюдаются радиолярии с хорошо сохранившимися скелетами, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-4, гл. 2895.67 м); б – силицит с радиоляритовым прослоем (до 60 % скелетов радиолярий) в слое «б». Встречаются радиолярии с хорошо сохранившимся скелетом, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-1, гл. 2937.53 м); в – силицит с множественными остатками радиолярий с крупным включением органического вещества в слое «б» (скв. М-3,

гл. 2957.76 м); г – силицит с множественными остатками радиолярий, изредка пиритизированными в слое «б» (скв. М-4, гл. 2897.06 м).

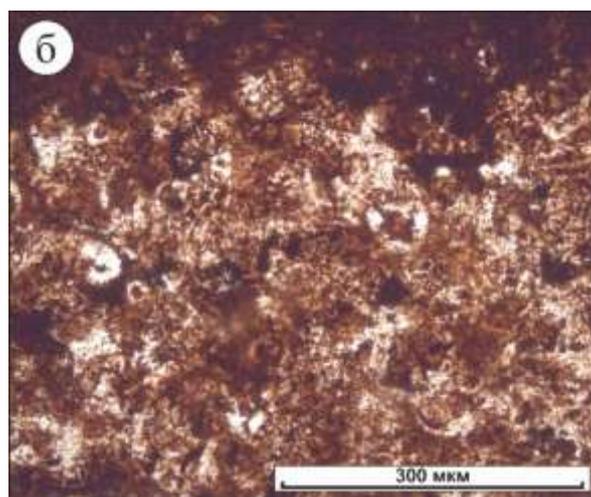
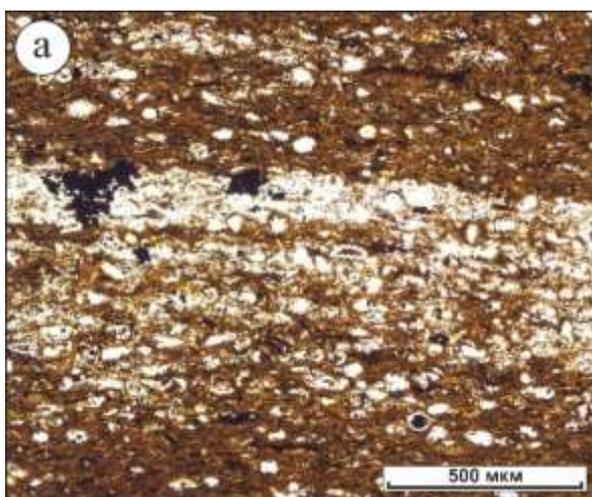
). Остатки радиолярий имеют округлую и конусообразную форму, отличаются сравнительно крупным размером. Сохранность радиолярий в интервале слоя различна. Наличие в этой части разреза скелетов радиолярий в силицитах в северо-восточной части Малобалькской площади ранее показано в работе [Эдер и др., 2022]. Содержание обломков скелетов рыб красновато-бурого цвета не превышает 3 %. Обломочная составляющая также представлена угловатыми зернами кварца размером 0.01 – 0.06 мм, однако здесь она присутствует не во всех изученных образцах. В средней и нижней частях слоя найдены скопления стронцианита. Они залегают либо в виде жилков, имеющих, вероятно, гидротермальную природу [Зубков, 2018], либо в виде скоплений в парагенезисе с витеритом по остаткам органического вещества. По данным ГИС слой 3b отчетливо выделяется по минимальным значениям естественной радиоактивности и максимальным значениям объемной плотности, а также положительной аномалии нейтронного каротажа (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

-Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

).



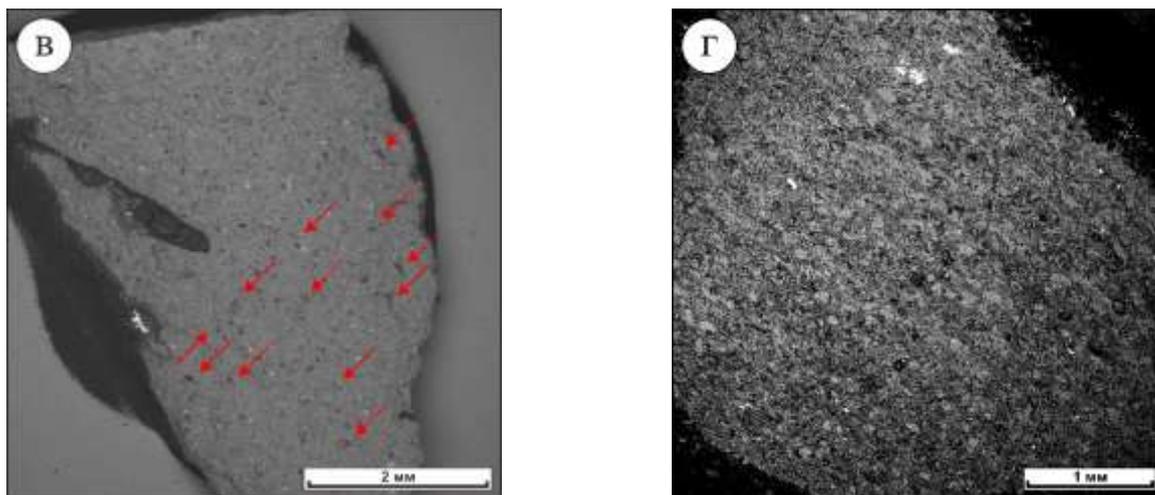


Рисунок 26 – Породы пачки 3.

а – силицит с радиоляритовым прослоем в слое «б». Наблюдаются радиолярии с хорошо сохранившимися скелетами, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-4, гл. 2895.67 м); б – силицит с радиоляритовым прослоем (до 60 % скелетов радиолярий) в слое «б». Встречаются радиолярии с хорошо сохранившимся скелетом, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-1, гл. 2937.53 м); в – силицит с множественными остатками радиолярий с крупным включением органического вещества в слое «б» (скв. М-3, гл. 2957.76 м); г – силицит с множественными остатками радиолярий, изредка пиритизированными в слое «б» (скв. М-4, гл. 2897.06 м).

В четвертой пачке кремнистый материал по-прежнему составляет основную массу породы, его содержание варьирует в диапазоне от 37.3 до 69.7 %, в среднем составляя 51.6 %; глинистого – от 5.6 до 21.1 %, в среднем – 11.6 %. В этой части разреза зафиксировано максимальное среди всех пачек среднее содержание органического вещества (18.2 %) (см. Таблица 4), концентрация которого изменяется от 12.0 до 22.0 %. Таким образом, пачка сложена силицитами керогеновыми и микститами кероген-кремнистыми. Структура изученных образцов – пелитовая, а текстура – линзовидно-слоистая (см. Рисунок 27 – Породы пачки 4).

а – силицит керогеновый с единичными остатками скелетов радиолярий (||) (скв. М-1, гл. 2934.79 м); б – силицит керогеновый с костными остатками рыб удлиненной формы красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2936.31 м); в – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2891.92 м); г – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренных пиритом и заполненных глинисто-кремнистым веществом, доломитом или органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м).  
Рисунок 28 – Образцы пачки 4 с костными остатками рыб удлиненной формы.

а – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и заполненные глинисто-кремнистым веществом, доломитом и органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м); б – силицит керогеновый (||) (скв. М-4, гл. 2891.28 м).

). Слоистость подчеркнута тонкими (0.01 – 0.05 мм) линзочками глинисто-кремнистого материала (в разной степени обогащенных керогеном) и керогена. Пирит, как правило, представлен в виде мелкой сыпи и стяжений, а его содержание в сравнении с нижней частью бажендовской свиты (1 – 3 пачки) возрастает и достигает 14.6 % (при среднем значении 8.9 %). Концентрация карбонатных минералов в изученных образцах не превышает 5.7 %, а полевых

шпатов – 11.2 %. Обломочная составляющая представлена угловатыми зернами кварца размером 0.01 – 0.03 мм, которые распространены в образцах неравномерно (см. Рисунок 27 – Породы пачки 4.

а – силицит керогеновый с единичными остатками скелетов радиолярий (||) (скв. М-1, гл. 2934.79 м); б – силицит керогеновый с костными остатками рыб удлиненной формы красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2936.31 м); в – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2891.92 м); г – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренных пиритом и заполненных глинисто-кремнистым веществом, доломитом или органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м).  
Рисунок 28 – Образцы пачки 4 с костными остатками рыб удлиненной формы.

а – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и заполненные глинисто-кремнистым веществом, доломитом и органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м); б – силицит керогеновый (||) (скв. М-4, гл. 2891.28 м).  
) . Радиолярии в интервале по-прежнему встречаются (см. Рисунок 27 – Породы пачки 4.

а – силицит керогеновый с единичными остатками скелетов радиолярий (||) (скв. М-1, гл. 2934.79 м); б – силицит керогеновый с костными остатками рыб удлиненной формы красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2936.31 м); в – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2891.92 м); г – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренных пиритом и заполненных глинисто-кремнистым веществом, доломитом или органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м).-  
Рисунок 29 – Радиолярии в образцах пачки 4.

а – пиритизированный скелет радиолярии округлой формы, пустотное пространство которой заполнено карбонатным и глинисто-кремнистым веществом в микстите кероген-кремнистом (скв. М-4, гл. 2891.92 м); б – плохо сохранившийся пиритизированный скелет радиолярии округлой формы, пустотное пространство которой заполнено карбонатным и глинисто-кремнистым веществом в микстите кероген-кремнистом (скв. М-4, гл. 2891.92 м).

), однако их содержание в сравнении с третьей пачкой сильно уменьшается, а в некоторых образцах они полностью отсутствуют. Обнаружены редкие известковые диноцисты (кальциферы). Практически повсеместно зафиксированы обломки скелетов рыб (см. Рисунок 27 – Породы пачки 4.

а – силицит керогеновый с единичными остатками скелетов радиолярий (||) (скв. М-1, гл. 2934.79 м); б – силицит керогеновый с костными остатками рыб удлиненной формы красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2936.31 м); в – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2891.92 м); г – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренных пиритом и заполненных глинисто-кремнистым веществом, доломитом или органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м).  
Рисунок 28 – Образцы пачки 4 с костными остатками рыб удлиненной формы.

а – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и заполненные глинисто-кремнистым веществом, доломитом и органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м); б – силицит керогеновый (||) (скв. М-4, гл. 2891.28 м).

) . В результате изучения образцов на сканирующем электронном микроскопе были обнаружены редкие находки сфалерита (Рисунок 30). В верхах пачки были найдены редкие остатки кокколитофорид, которые обычно встречаются выше по

разрезу свиты. По данным [Эдер и др., 2022], четвертая пачка в разрезе скважины № 901 Малобалыкской площади сложена силицитами керогеновыми, а в ее верхней части также были зафиксированы остатки кокколитофоридовых водорослей.

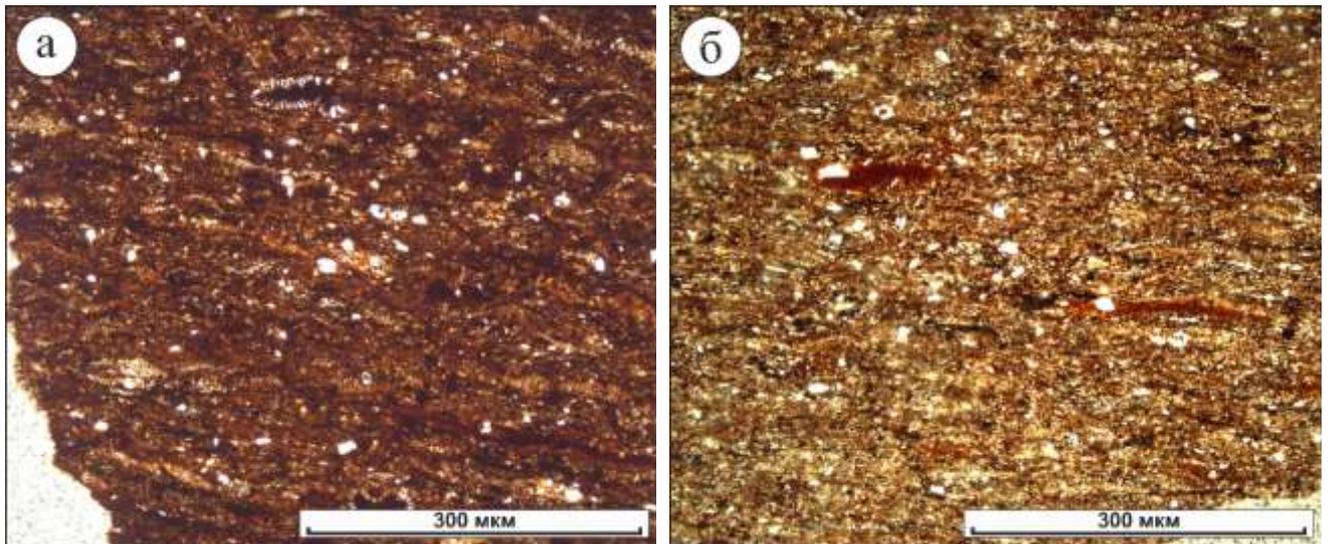
По литологическому составу пачка является сравнительно однородной. На каротажных диаграммах она отчетливо выделяется по крупному пику на кривой гамма каротажа и минимальным значениям объемной плотности по ГГК-П (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

). Ее мощность в изученных разрезах изменяется от 2.6 до 4.8 м.



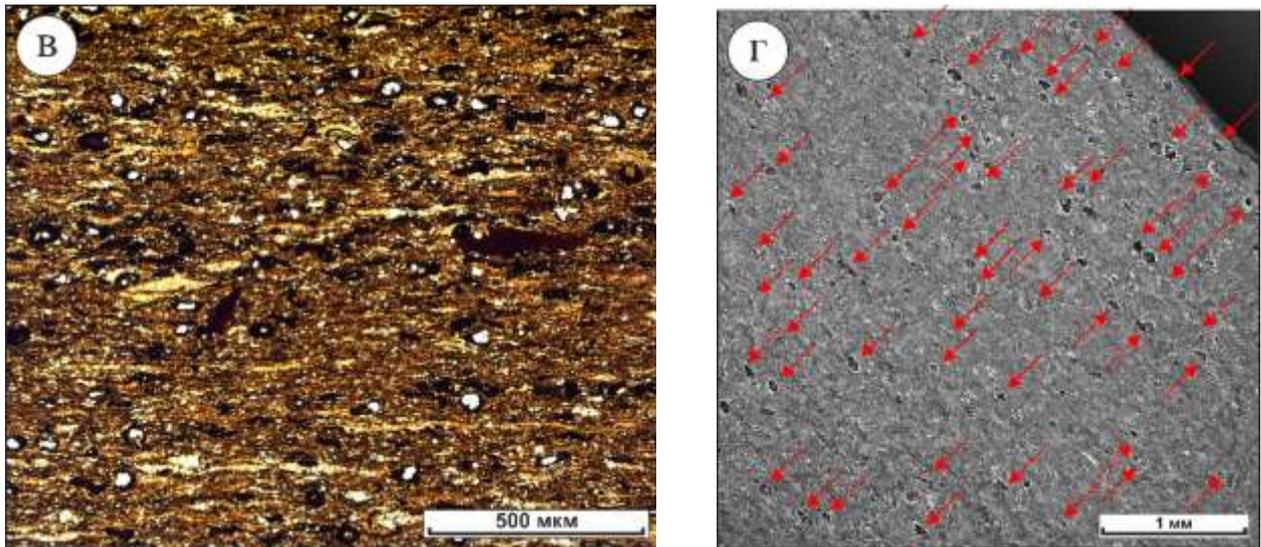


Рисунок 27 – Породы пачки 4.

а – силицит керогеновый с единичными остатками скелетов радиолярий (||) (скв. М-1, гл. 2934.79 м); б – силицит керогеновый с костными остатками рыб удлиненной формы красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2936.31 м); в – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2891.92 м); г – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренных пиритом и заполненных глинисто-кремнистым веществом, доломитом или органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м).

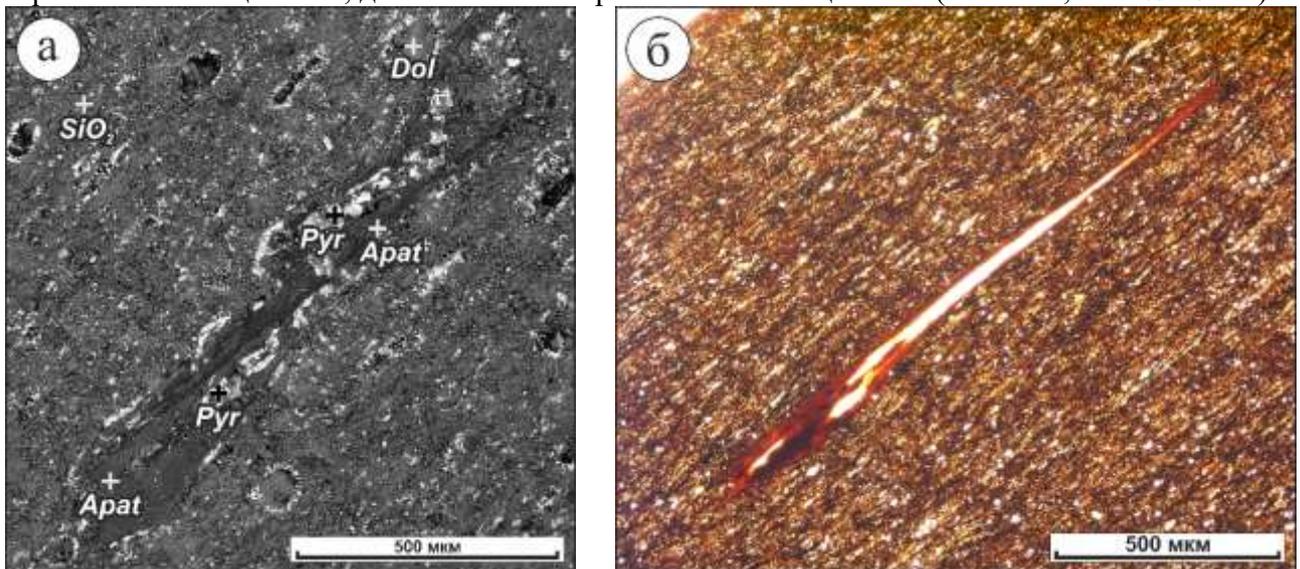


Рисунок 28 – Образцы пачки 4 с костными остатками рыб удлиненной формы.

а – микстит кероген-кремнистый с многочисленными скелетами радиолярий, оконтуренными пиритом и заполненные глинисто-кремнистым веществом, доломитом и органическим веществом (скв. М-4, гл. 2891.92 м); б – силицит керогеновый (||) (скв. М-4, гл. 2891.28 м).

Самой неоднородной среди выделенных пачек является пятая («кокколитофоридовая»). Она разделена на три слоя: нижний – а, средний – б и верхний – с, а ее особенностью является повышенное содержание карбонатных

минералов. Образцы, отобранные из пятой пачки, имеют пелитовую структуру (для некоторых разновидностей с повышенными значениями карбонатной составляющей – мелкокристаллическую) и линзовидно-слоистую (реже массивную) текстуру (Рисунок 31 – Породы слоя «а» пачки 5.

а – микстит кероген-кремнистый с единичным скелетом радиолярии, заполненной глинисто-кремнистым материалом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2890.69 м); б – микстит кероген-кремнистый с крупным остатком раковины двустворчатого моллюска и костными остатками рыб (слева - ||, справа - ×) (скв. М-4, гл. 2888.18 м).

-Рисунок 33 – Породы слоя «с» пачки 5.

а – микстит кероген-глинистый с большим содержанием линз представленных органическим веществом и пиритом с редкими цистами динофлагеллят и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2880.44 м); б – микстит керогеновый с линзовидно-слоистой текстурой и крупными костными остатками рыб удлиненной формы (скв. М-4, гл. 2881.54 м).

). В образцах этой пачки зафиксированы кокколитофоридовые водоросли. Повсеместно наблюдаются обломки скелетов рыб (см. Рисунок 31 – Породы слоя «а» пачки 5.

а – микстит кероген-кремнистый с единичным скелетом радиолярии, заполненной глинисто-кремнистым материалом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2890.69 м); б – микстит кероген-кремнистый с крупным остатком раковины двустворчатого моллюска и костными остатками рыб (слева - ||, справа - ×) (скв. М-4, гл. 2888.18 м).

-Рисунок 33 – Породы слоя «с» пачки 5.

а – микстит кероген-глинистый с большим содержанием линз представленных органическим веществом и пиритом с редкими цистами динофлагеллят и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2880.44 м); б – микстит керогеновый с линзовидно-слоистой текстурой и крупными костными остатками рыб удлиненной формы (скв. М-4, гл. 2881.54 м).

), в больших количествах появляются остатки раковин двухстворчатых моллюсков, иногда в виде маломощных прослоев. Радиолярии были обнаружены в единичных образцах; редко в виде линз или прослоев (см. Рисунок 32 – Породы слоя «в» пачки 5.

а – многочисленные остатки скелетов радиолярий, замещенных карбонатным материалом (кальцитом и доломитом) (до 60 %) (×) (скв. М-4, гл. 2883.61 м); б – карбонат керогеновый с цистами динофлагеллят округлой формы и костным остатком рыбы красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2925.01 м).

). Неравномерно распространенная обломочная часть (1 – 5 %) представлена угловатыми зернами кварца размером 0.01 – 0.07 мм. Пирит в виде мелкой сыпи и стяжений неправильной формы распространен беспорядочно, изредка он представлен в виде линзочек. В некоторых образцах был зафиксирован сульфид цинка (сфалерит либо вюрцит) (Рисунок 34 – Образцы слоя «а» пачки 5 со сфалеритом.

а – микстит кероген-кремнисто-глинистый (скв. М-4, гл. 2885.17 м); б – микстит кероген-кремнистый (скв. М-1, гл. 2930.38 м).

).

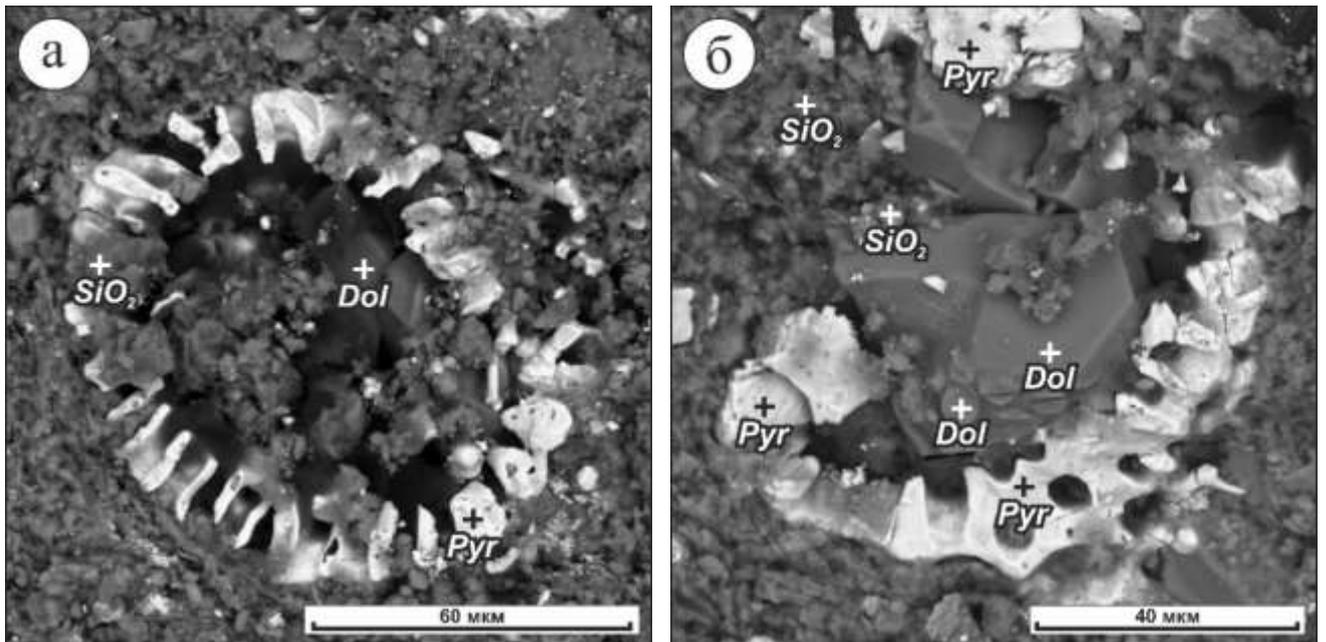


Рисунок 29 – Радиоларии в образцах пачки 4.

а – пиритизированный скелет радиоларии округлой формы, пустотное пространство которой заполнено карбонатным и глинисто-кремнистым веществом в микстите кероген-кремнистом (скв. М-4, гл. 2891.92 м); б – плохо сохранившийся пиритизированный скелет радиоларии округлой формы, пустотное пространство которой заполнено карбонатным и глинисто-кремнистым веществом в микстите кероген-кремнистом (скв. М-4, гл. 2891.92 м).

В нижнем слое (5а) основная масса породы сложена кремнистым материалом (содержание варьируется от 22.3 до 53.1 %, в среднем 41.2 %), органическим веществом (от 5.3 до 24.9 %, в среднем – 17.4 %) и в меньшей степени глинистыми минералами (от 1.1 до 37.2 % при среднем арифметическом – 14.1 %) (см. Таблица 4). Слой представлен преимущественно микститами кероген-кремнистыми. Полученные данные согласуются с результатами изучения литологии баженовской свиты в скважине № 901 Малобалыкской площади [Эдер и др., 2022], где разрез пятой пачки начинается со сравнительно однородного интервала, сложенного преимущественно микститами кероген-глинисто-кремнистыми, что говорит о незначительно повышенных концентрациях глинистого материала в северо-восточной части площади.

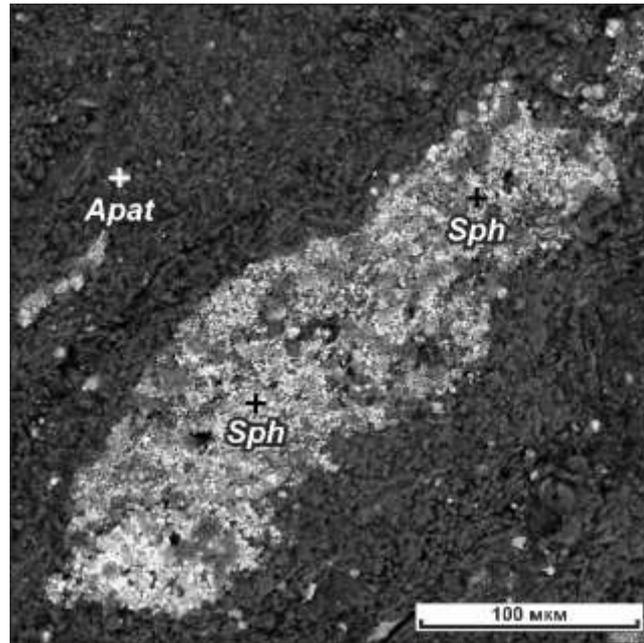


Рисунок 30 – Силицит керогеновый со сфалеритом (скв. М-1, гл. 2936.62 м).

В изученных разрезах в слое 5а встречаются единичные прослои силицитов керогеновых, микститов кероген-кремнисто-глинистых, кероген-глинисто-кремнистых, а также карбоната, связанного двустворчатыми моллюсками в разрезе скважины М-1 (содержание карбонатных минералов – 51.2 %, а кремнистого вещества и глинистой компоненты снижено до 22.3 и 1.1 % соответственно). Содержание полевых шпатов изменяется в сравнительно узком диапазоне от 5.9 до 10.9 %, а концентрации карбонатного вещества в основной массе породы не превышает 18.5 % (исключение составляет ранее описанный карбонатный прослой). Содержание пирита здесь повышено и изменяется от 5.6 до 13.6 %, в среднем – 9.8 % (см. Таблица 4).

В среднем слое (5b) наблюдаются максимальные для свиты концентрации карбонатного вещества (до 77.6 % при среднем – 41.1 %), уменьшается содержание кремнистого материала (изменяется в диапазоне от 4.4 до 39.1 %, в среднем – 20.9), а также глинистых минералов (от 0.1 до 21.9 %, среднее арифметическое – 8.7 %). Содержание полевых шпатов в слое 5b варьируется от 2.0 до 15.5 % (в среднем – 7.3 %). Концентрации органического вещества и пирита повышены и изменяются в диапазонах от 4.5 до 19.2 % (при среднем 12.3 %) и от 3.4 до 13.7 % (в среднем –

8.5 %) соответственно. Слой 5b представлен карбонатами, в том числе керогеновыми, микститами кероген-карбонатно-кремнистыми, кероген-кремнисто-карбонатными, а также доломитами. Согласно [Эдер и др., 2022], в этой части разреза в северо-восточной части Малобалыкской площади зафиксированы максимальные для баженовской свиты концентрации карбонатного материала: здесь слой представлен микститами кероген-карбонатно-кремнистыми.

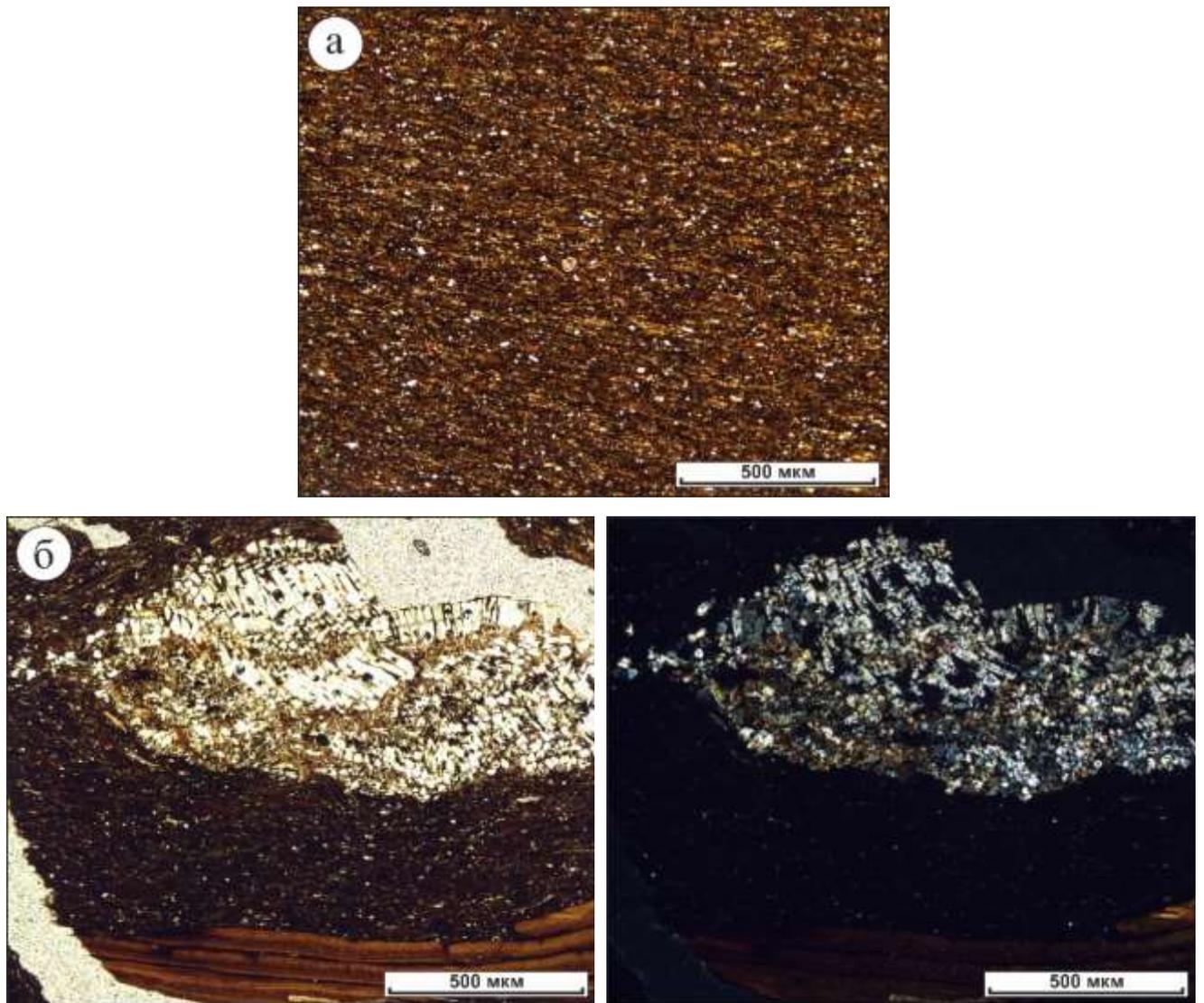


Рисунок 31 – Породы слоя «а» пачки 5.

а – микстит кероген-кремнистый с единичным скелетом радиолярии, заполненной глинисто-кремнистым материалом и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2890.69 м); б – микстит кероген-кремнистый с крупным остатком раковины двустворчатого моллюска и костными остатками рыб (слева - ||, справа - ×) (скв. М-4, гл. 2888.18 м).

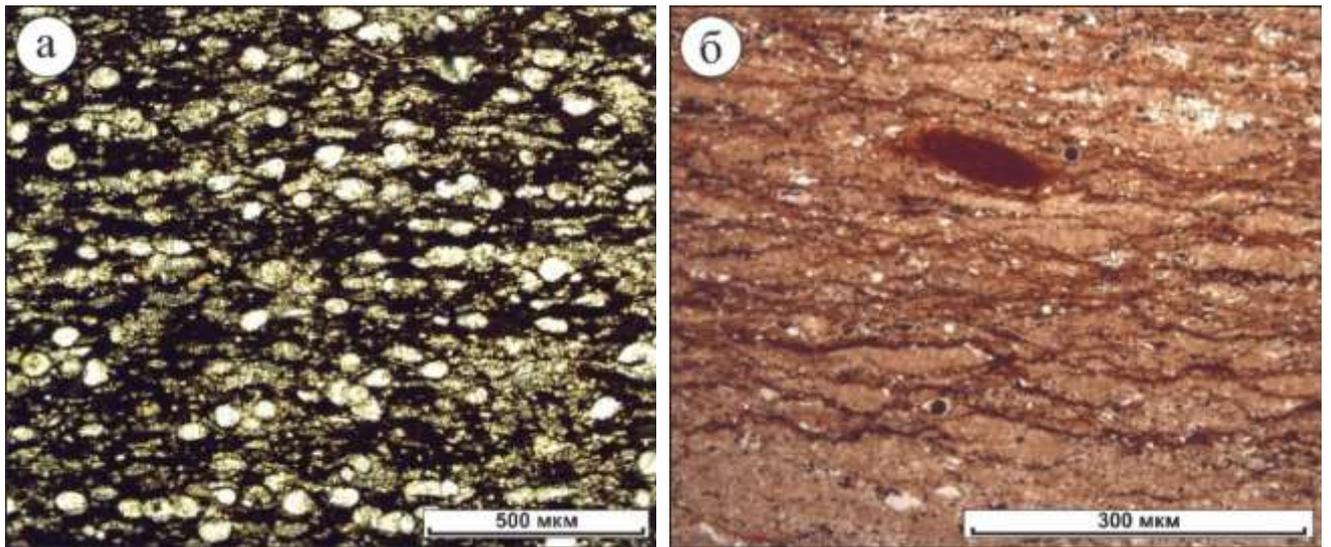


Рисунок 32 – Породы слоя «б» пачки 5.

а – многочисленные остатки скелетов радиолярий, замещенных карбонатным материалом (кальцитом и доломитом) (до 60 %) (×) (скв. М-4, гл. 2883.61 м); б – карбонат керогеновый с цистами динофлагеллят округлой формы и костным остатком рыбы красновато-бурого цвета (||) (скв. М-1, гл. 2925.01 м).

Отличительной особенностью данного слоя является наличие во многих образцах остатков кокколитофоридовых водорослей карбонатного состава (Рисунок 35 – Породы верхней части слоя «а» и слоя «б» пачки 5.

а – микстит кероген-кремнистый с большим количеством кокколитофорид карбонатного состава (скв. М-2, гл. 3012.87 м); б – остатки кокколитофорид в большом приближении (скв. М-1, гл. 2924.64 м); в – микстит кероген-карбонатно-кремнистый с большим количеством кокколитофорид (скв. М-1, гл. 2926.10 м).

). Как уже упоминалось ранее, подробным изучением реликтов кокколитофорид в баженовской свите занимались В.Н. Векшина [1962а, 1962б], Г.С. Ясович и М.Д. Поплавская [1975], Ю.Н. Занин [2012], Н.С. Балущкина [2013], В.Г. Эдер [2015, 2017] и др. Повышенное содержание карбонатного вещества в этом интервале также связано с остатками раковин двустворчатых моллюсков, а в некоторых образцах отмечено сравнительно высокое содержание известковых цист динофлагеллят (кальцисфер) и карбонатизированных скелетов радиолярий, что также показано работе [Эдер и др., 2022]. Еще одной особенностью слоя является сравнительно сильная неоднородность литологического состава, а также невыдержанность по мощности (от 1.8 до 4.6 м) в изученных разрезах [Фомин и др., 2023].

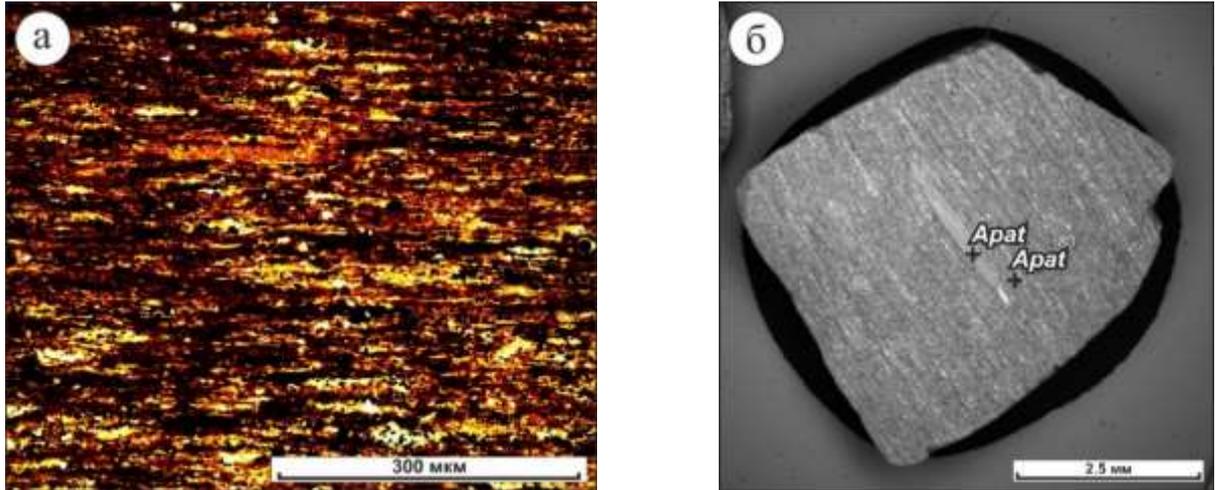


Рисунок 33 – Породы слоя «с» пачки 5.

а – микстит кероген-глинистый с большим содержанием линз представленных органическим веществом и пиритом с редкими цистами динофлагеллят и костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2880.44 м); б – микстит керогеновый с линзовидно-слоистой текстурой и крупными костными остатками рыб удлиненной формы (скв. М-4, гл. 2881.54 м).

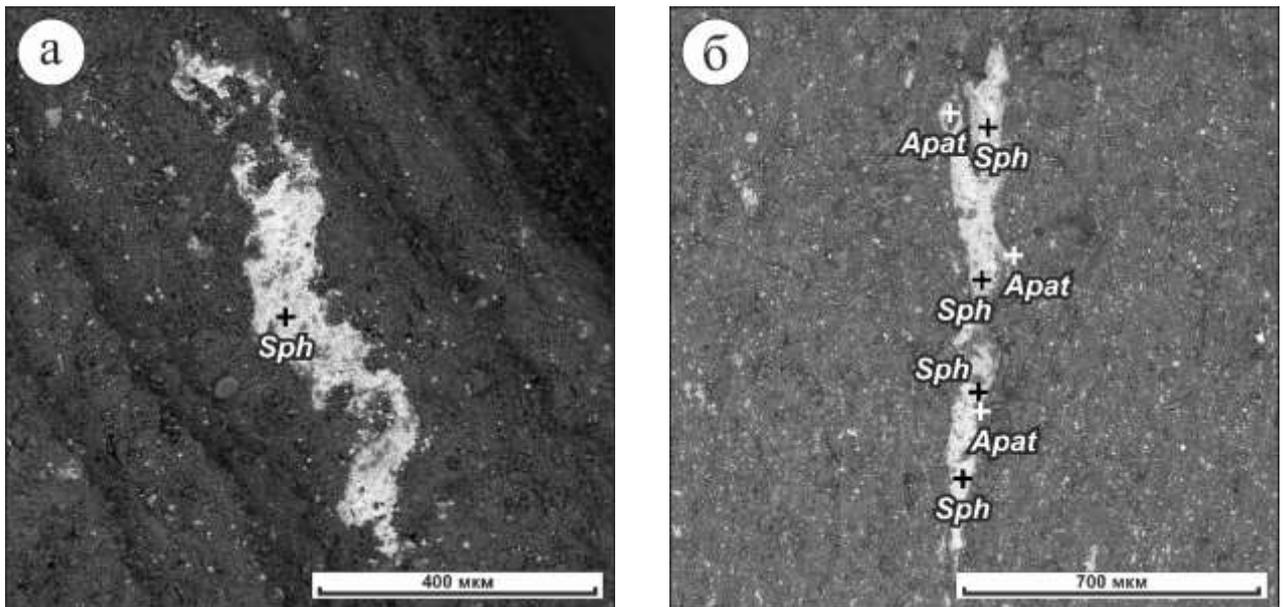


Рисунок 34 – Образцы слоя «а» пачки 5 со сфалеритом.

а – микстит кероген-кремнисто-глинистый (скв. М-4, гл. 2885.17 м); б – микстит кероген-кремнистый (скв. М-1, гл. 2930.38 м).

В центральной части слоя 5b в виде тонкого (0.3 – 0.4 м) прослоя залегают микститы кероген-кремнистые. Эти породы встречены во всех изученных разрезах. Они содержат редкие фрагменты радиолярий, выполненные внутри кремнеземом,

а также линзы этого материала. Кокколитофорид в них не обнаружено. В этой части пачки в разрезе скважины М-4 выделены микститы керогеновые, в которых наблюдается повышенное содержание диноцист.

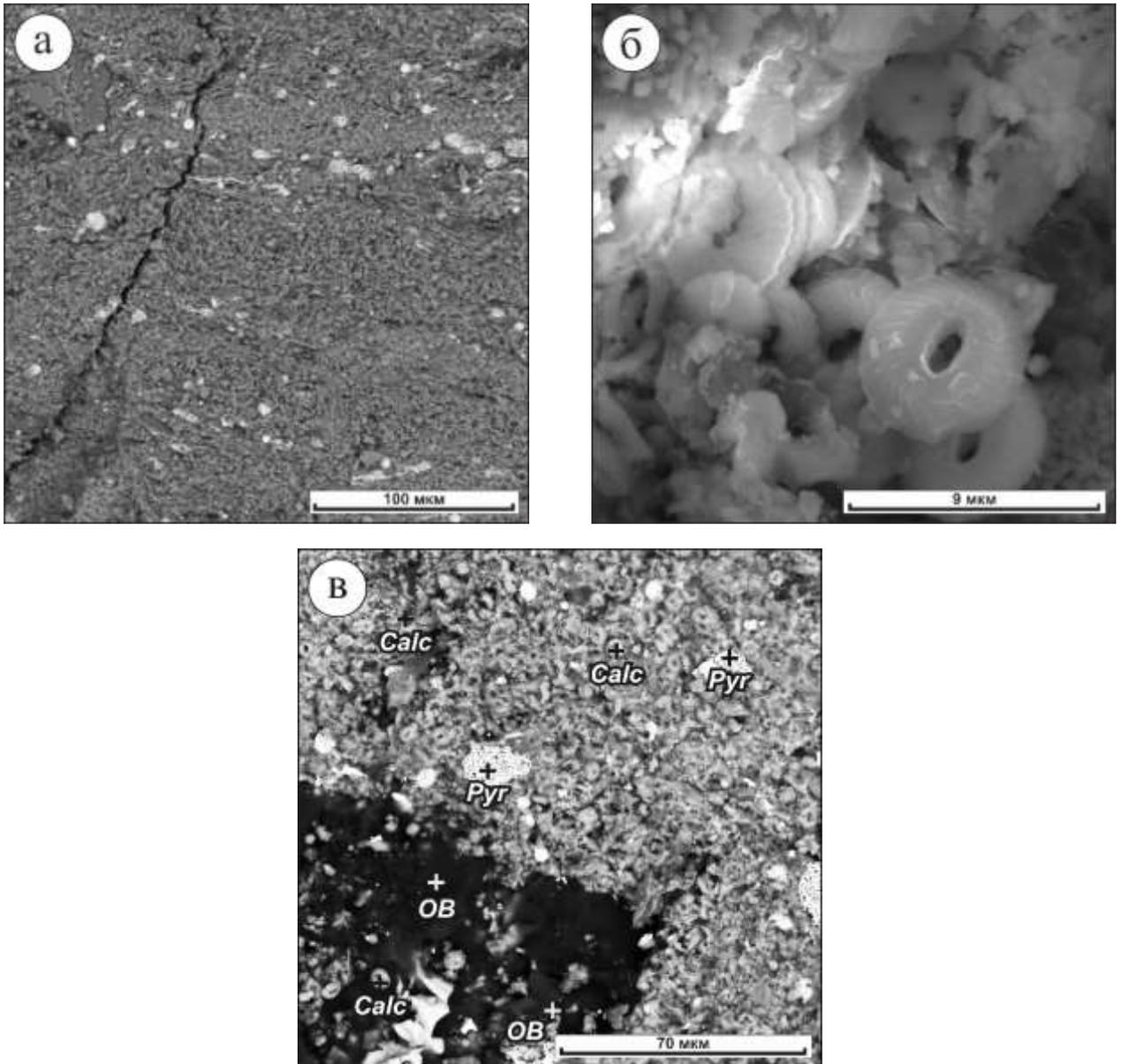


Рисунок 35 – Породы верхней части слоя «а» и слоя «б» пачки 5.

а – микстит кероген-кремнистый с большим количеством кокколитофорид карбонатного состава (скв. М-2, гл. 3012.87 м); б – остатки кокколитофорид в большом приближении (скв. М-1, гл. 2924.64 м); в – микстит кероген-карбонатно-кремнистый с большим количеством кокколитофорид (скв. М-1, гл. 2926.10 м).

Слой 5с завершает разрез баженовской свиты и является переходным уровнем к вышележащей подачимовской толще. Его мощность в изученных

разрезах не превышает 1.6 м. Он представлен преимущественно микститами керогеновыми и кероген-глинистыми (Рисунок 36). Структура пород – пелитовая, текстура – линзовидно-слоистая. В этом интервале выделяется зона пиритизации, связанная с повышенным содержанием органического вещества. Концентрация пирита в данном слое достигает 31.2 % (в среднем – 18.2 %), а органического вещества – до 34.7 % (при среднем – 19.4 %). В этом слое снижается содержание кремнистого материала, а концентрации глинистых минералов возрастают. Остатки флоры и фауны представлены цистами динофлагеллят и фрагментами скелетов рыб соответственно. В этом слое резко уменьшается среднее содержание карбонатных минералов, однако встречаются маломощные прослои карбонатов.

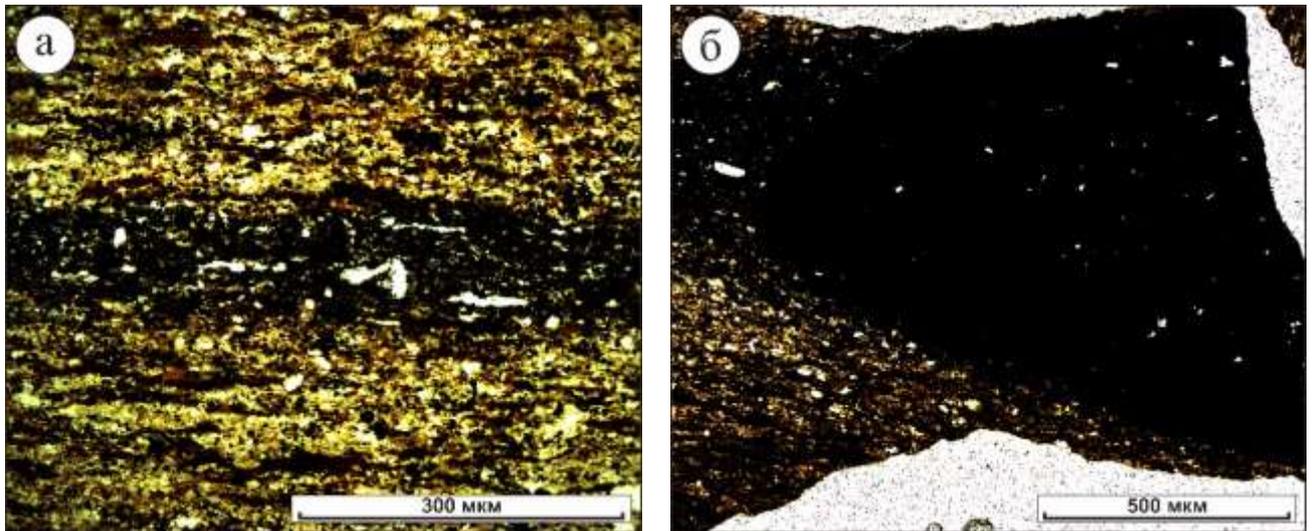


Рисунок 36 – Микстит кероген-глинистый в слое «с» пачки 5 с повышенным содержанием в образцах пирита различной формы (а – ||, б – ×) (скв. М-4, гл. 2880.44 м).

По данным ГИС пятая пачка характеризуется постепенным уменьшением значений естественной радиоактивности и плавным увеличением плотности пород по данным ГГК-П (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

-Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

). Значения нейтронного каротажа выдержаны. Повышенное содержание органического вещества в прикровельной части пачки (слой 5с) отражается положительной аномалией естественной радиоактивности и отрицательной – значений плотностного гамма-гамма каротажа. Мощность пачки в изученных разрезах изменяется от 8.5 до 11.9 м.

В публикации [Панченко и др., 2016] переходный уровень между баженовской свитой и подачимовской толщей мощностью первые метры, характеризуемый содержанием органического вещества 2-10 % и высокими концентрациями пирита, выделен в шестую пачку. Исследователи отмечают, что её состав отличается повышенными концентрациями глинистого материала и практически полным отсутствием карбонатных минералов. Также в этой пачке сильно меняются физические свойства пород по данным ГИС. В связи с резким изменением литологического состава пород и их физических свойств в настоящей диссертационной работе эта часть разреза была отнесена к вышележащим отложениям. Приведенный в статье [Эдер и др., 2020] комплексный анализ литолого-геохимических и геофизических особенностей приграничной зоны баженовской свиты и подачимовской толщи также показал необходимость исключения этих пород из состава баженовской свиты на большей части Западно-Сибирского осадочного бассейна.

Перекрывающая баженовскую свиту нижняя часть подачимовской толщи представлена преимущественно микститами глинистыми и аргиллитами (Рисунок 37 – Породы подачимовской толщи.

а – микстит кероген-глинистый с костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2879.99 м); б – аргиллит (||) (скв. М-4, гл. 2878.37 м).

). Содержание глинистого материала в этих породах достигает 61.5 %. Средние концентрации кремнистого материала составляют 20.0 %, органического вещества – 6.5 %, причем его содержание постепенно снижается вверх по разрезу. Количество обнаруженных скелетов радиолярий и двустворчатых моллюсков резко сокращается, в то время как обломки костей рыб по-прежнему наблюдаются в образцах повсеместно (см. Рисунок 37 – Породы подачимовской толщи.

а – микстит кероген-глинистый с костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2879.99 м); б – аргиллит (||) (скв. М-4, гл. 2878.37 м).

, Рисунок 38). Пирит чаще всего залегает между слойками глинистого материала в виде глобул, а его содержание достигает 20.2 %. Встречаются единичные зерна сфалерита в карбонатных конкрециях. Найдены единичные скопления гётита, образованные в результате окисления пирита.

Изменение литологического состава находит свое отражение в физических свойствах пород: снижаются значения сопротивления (зонды КС, БК, МБК, МГК, МПЗ), естественной радиоактивности пород (ГК); увеличивается электропроводность пород (ИК), их плотность (ГГК-П) и скорости прохождения акустических волн (АК) (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

-Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

).

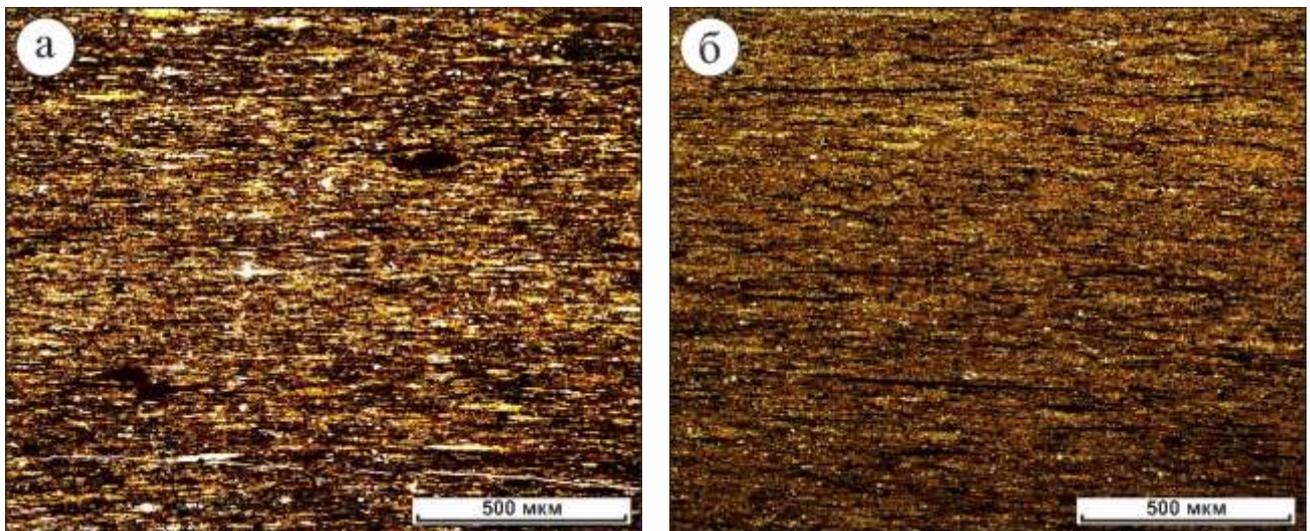


Рисунок 37 – Породы подачимовской толщи.

а – микстит кероген-глинистый с костными остатками рыб красновато-бурого цвета (||) (скв. М-4, гл. 2879.99 м); б – аргиллит (||) (скв. М-4, гл. 2878.37 м).

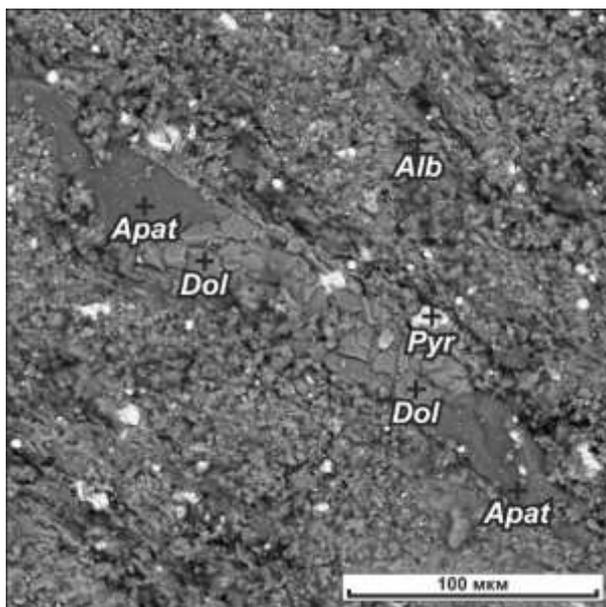


Рисунок 38 – Микстит глинистый в подачимовской толще с костным остатком рыбы удлиненной формы (скв. М-4, гл. 2878.97 м).

Таким образом, анализ фактического материала показал, что нижняя часть разреза баженовской свиты (пачки 1, 2) в пределах изучаемой территории представлена преимущественно микститами кероген-глинисто-кремнистыми с единичными прослоями двустворок. Во второй пачке несколько увеличивается содержание органического и кремнистого вещества. Средняя часть разреза (пачка 3) представлена силицитами и силицитами керогеновыми. Здесь 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 силицитами керогеновыми, но в образцах уменьшается содержание кремнистой компоненты и резко возрастает содержание органического вещества. Особенностью верхней части разреза (пачка 5) является повышенное и неравномерное содержание карбонатных минералов, большое количество фрагментов раковин двустворок. Здесь выделяются микститы кероген-кремнистые, микститы кероген-карбонатно-кремнистые, кероген-кремнисто-карбонатные, кероген-карбонатные, кероген-кремнистые, керогеновые, а также карбонаты (в том

числе керогеновые) и доломиты. Выше по разрезу увеличивается содержание глинистых минералов (слой 5с и подачимовская толща сортымской свиты), в связи с чем среди литологических разностей выделяются преимущественно микститы керогеновые, кероген-глинистые, а также микститы глинистые и аргиллиты [Фомин и др., 2023].

## ГЛАВА 4. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Палеогеографические особенности поздней юры-раннего мела предопределили феномен баженовской свиты, а вместе с ним и уникальное богатство Западно-Сибирского бассейна нефтью и газом. Первые выводы об особенностях седиментации баженовской свиты были получены еще на ранних этапах ее изучения. Изучению палеогеографии этой эпохи посвящены работы В.П. Казаринова, В.Н. Сакса, З.З. Ронкиной, Т.И. Гуровой, Ф.Г. Гурари, А.Э. Конторовича, И.И. Плумана, С.П. Булынниковой, И.Н. Ушатинского, Ю.В. Брадучана, М.В. Коржа, М.С. Зонн, С.И. Филиной, В.А. Захарова, Ю.Н. Занина и других исследователей.

На территории Западно-Сибирского осадочного бассейна в конце позднего оксфорда началась крупная морская трансгрессия, а максимальной глубины Западно-Сибирский бассейн достиг в волжское время [Булынникова и др., 1978; Филина и др., 1984; Захаров и др., 1998; Конторович и др., 2013; Наг, 2014; Наг, 2018; Конторович и др., 2019 и др.]. Увеличение глубины связывают с эвстатическими колебаниями и одновременным прогибанием дна бассейна. Исследуемая в диссертационной работе территория в поздней юре – раннем мелу находилась в наиболее глубоководной части Западно-Сибирского морского бассейна, глубины которого по мнению большинства исследователей достигали 500 м [Плуман, 1971; Сакс, 1972; Ясович, Поплавская, 1975; Конторович, 1976; Булынникова и др., 1978; Гурари, 1981; Захаров, Сакс, 1983; Филина и др., 1984; Брадучан и др., 1986; Занин и др., 1999; Конторович и др., 2013, 2019 и др.]. Автору диссертации известно, что по некоторым оценкам глубины могли достигать 700 м [Бочкарев и др., 1985; Лопатин и др., 1999], другие специалисты полагали, что глубины не превышали 250 м [Зарипов и др., 1976; Ушатинский и др., 1978; Ровнина и др., 1978; Мазур, 1980; Ушатинский, 1981 и др.].

Следствием изменения уровня моря стало удаление источников сноса терригенного материала. В то же время в волжском веке рельеф областей

водосборов оказался равнинным, пенепленизированным [Казаринов, 1958; Сакс, Ронкина, 1960; Гурова, Казаринов, 1962; Конторович и др., 1971 и др.]. Климат был теплым, субтропическим и семиаридным [Захаров, 2006 и др.]. Уменьшилось значение механического выветривания, привнос терригенного материала сократился. В бассейн поступали преимущественно продукты химического выветривания, являвшиеся пищей для обитавших организмов [Конторович и др., 1971, 1974]. Все это способствовало исключительно высокой биопродуктивности живых организмов в Западно-Сибирском море волжского века, что в свою очередь предопределило накопление на обширной территории преимущественно биогенных пород кремнистого состава, а наличие восстановительных обстановок в придонном слое воды способствовало накоплению в осадке большого количества органического вещества [Конторович и др., 2013]. Глубины моря, удаленность областей сноса терригенного материала, степень выветривания, климатические особенности, а также биопродуктивность организмов в период накопления баженовской свиты изменялись во времени, что подтверждено результатами многих исследований [Наг, 2014, 2018; Панченко и др., 2016; Gradstein et al., 2020; Эдер и др., 2022].

#### **4.1. Некоторые аспекты седиментогенеза**

В последнее десятилетие в связи с возросшим интересом к сланцевым источникам углеводородовкратно увеличилось количество работ, посвященных детальному изучению геологического строения баженовской свиты, а во многих из них подробно рассматривается влияние условий и обстановок осадконакопления на ее состав и коллекторские свойства [Немова, Панченко, 2017; Панченко и др., 2015, 2021; Амон и др., 2021; Хотылев и др., 2019, 2021; Фомина и др., 2021; Эдер и др., 2022 и др.]. Несмотря на детальное изучение баженовских отложений, сегодня по-прежнему крайне сложно прогнозировать перспективы их нефтеносности. Продуктивность скважин, находящихся на расстоянии 5-10 километров может сильно отличаться, что связано с особенностями

седиментогенеза и последующих преобразований пород в диа- и катагенезе [Зубков, 2002; Немова, 2012; Балущкина и др., 2014; Калмыков, Балущкина, 2017; Макарова и др., 2018; Рослякова и др., 2019; Фомина и др., 2021 и др.].

Как указывалось выше, в изученных разрезах баженовская свита разделяется на два относительно контрастных интервала: нижнюю и верхнюю толщи [Панченко и др., 2016]. Граница между толщами уверенно проводится по резкому увеличению значений естественной радиоактивности и уменьшению объемной плотности пород [Фомин и др., 2023]. В верхней толще существенно возрастает содержание органического вещества, что влечет за собой изменение физических характеристик разреза, и отмечается увеличение карбонатной составляющей.

В нижней толще баженовских отложений (ранне-средневожское время) отмечается повышенное для этой свиты содержание оксидов алюминия, калия и титана ( $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  и  $TiO_2$ ) (Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3»).

Условные обозначения см. на рисунке 12.

) как элементов, преобладающих преимущественно в терригенных глинистых толщах [Зубков, 1987; Эдер и др., 2017]. Причем наблюдается постепенное уменьшение их содержания, достигая минимальных значений в центральной части баженовской свиты (слой 3b), в то время как содержание оксида кремния от первой к третьей пачке постепенно увеличивается (см. Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3»).

Условные обозначения см. на рисунке 12.

). По результатам расчета отношения оксида кремния к оксиду алюминия  $SiO_2/Al_2O_3$  определено, что в нижней толще баженовской свиты породы первой пачки и нижней части пачки 2 охарактеризованы минимальными значениями. В верхней части пачки 2 и нижней части пачки 3 значения отношения возрастают и достигают максимума в образцах слоя 3b (см. Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3»).

Условные обозначения см. на рисунке 12.

).

В ходе исследования на основе временных интервалов накопления [Эдер и др., 2022], рассчитанных толщин и коэффициентов уплотнения пород была произведена оценка темпов седиментации выделенных пачек (Рисунок 39 – Гистограмма распределения оцененных скоростей осадконакопления выделенных пачек и доля участия в седиментации компонентов.

Условные обозначения: 1 – кремнистое вещество; 2 – глинистые минералы; 3 – органическое вещество; 4 – другие компоненты.

). Установлено, что вторая пачка накапливалась в среднем в 8.7 раз быстрее, чем первая, а третья – почти в 1.6 раза быстрее, чем вторая. Средние скорости осадконакопления в нижней части разреза увеличились с 3.8 до 53.0 мм/тыс. лет. Причем основной рост темпов седиментации связан с увеличением скоростей накопления именно кремнистого материала, процентное содержание которого в осадках достигало 63 %. Главным его источником служили остатки зоопланктона – скелеты радиолярий [Амон и др., 2021], о повышенной биопродуктивности которых в волжское время писали многие исследователи [Гурова, Казаринов, 1962; Немова, 2012; Панченко и др., 2015; Эдер и др., 2015; Калмыков, 2016 и др.]. На основании полученных в настоящей работе результатов, а также ранее опубликованных данных [Амон и др., 2021; Эдер и др., 2022 и др.] можно сделать вывод: рост темпов седиментации в ранне-средневолжское время связан, в основном, с увеличением биопродуктивности радиолярий, достигшей своего максимума во второй половине средневолжского времени в период накопления третьей пачки. Полученные результаты подтверждают ранее сделанные выводы в работе [Эдер и др., 2017] об увеличении роли биогенной седиментации от нижневолжского к верхам средневолжского подъяруса.

Анализ значения темпов седиментации глинистого материала в ранне-средневолжское время показал их увеличение в интервале второй пачки (в сравнении с первой). Данный факт может быть связан с уменьшением глубины Западно-Сибирского моря и, как следствие, приближением источников сноса обломочного материала, о чем говорится в ранее опубликованных материалах [Наq, 2014, 2018; Gradstein et al., 2020; Эдер и др., 2022]. Во время накопления третьей пачки темпы накопления глинистого материала остались на прежнем уровне: в период ее образования глубина моря практически не изменилась [Gradstein et al., 2020; Эдер и др., 2022].

Отношение скоростей осадконакопления кремнистого вещества к глинистой составляющей подтверждает ранее сделанные выводы о преимущественно биогенном типе седиментации, постепенное усиление которого наблюдается от

низов баженовской свиты (значение отношения 1.5) к третьей пачке (значение отношения 4.5). Именно во второй половине средневожского времени наблюдалась наибольшее преобладание биогенного типа осадконакопления над терригенным.

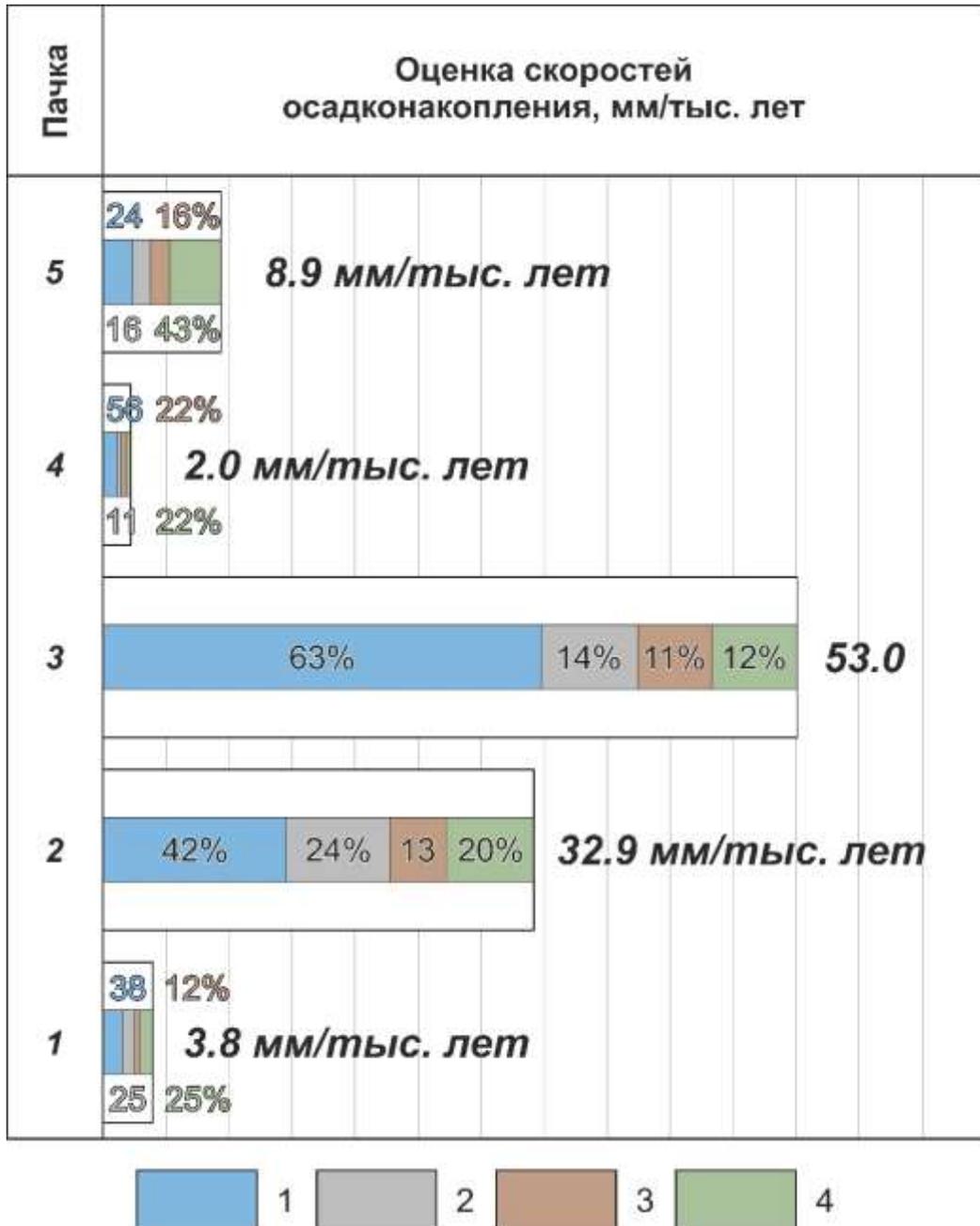


Рисунок 39 – Гистограмма распределения оцененных скоростей осадконакопления выделенных пачек и доля участия в седиментации компонентов.

Условные обозначения: 1 – кремнистое вещество; 2 – глинистые минералы; 3 – органическое вещество; 4 – другие компоненты.

М-2

М-1

М-3

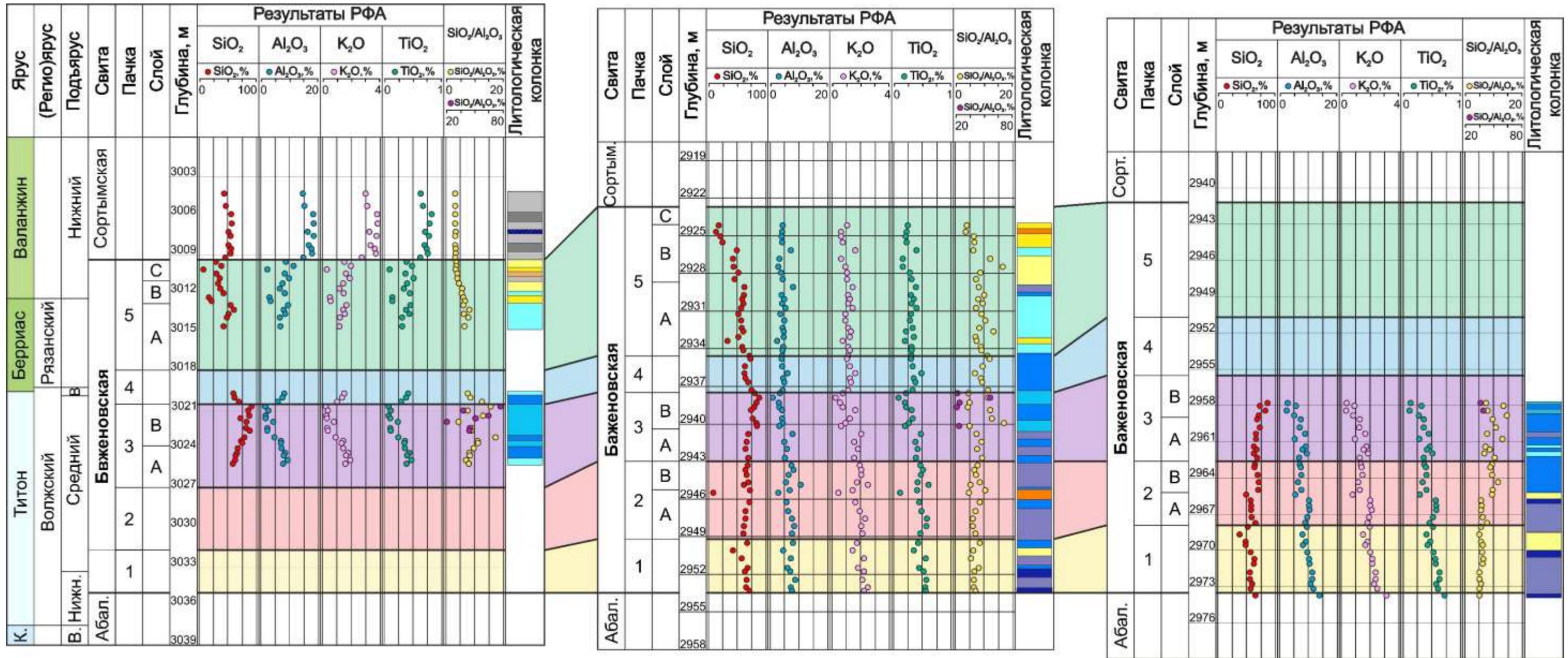


Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3». Условные обозначения см. на рисунке 12.

Изучением природы органического вещества баженовской свиты в разные годы занимались многие исследователи [Сверчков, 1958, 1959; Конторович и др., 1967, 1971, 1998, 2013; Булынникова и др., 1978; Ушатицкий, 1979, 1981, 1984; Дорофеева и др., 1983; Филина и др., 1984; Брандучан и др., 1986; Занин и др., 1997, 2008; Амон и др., 2011 и др.]. Исследователи полагали, что его источником могли служить диатомеи, радиолярии, бесскелетные организмы, однако большая часть ученых связывала органическое вещество свиты одновременно с бесскелетным планктоном и радиоляриями. Геохимически доказана генетическая связь органического вещества баженовской свиты с липоидами бактерий, архей и простейших эукариотов, обитавших в морском бассейне и его осадках [Конторович и др., 2013; 2019].

Анализ полученных гистограмм показал рост скоростей накопления в породах органического вещества от первой пачки ко второй и, далее, к третьей. Данное наблюдение позволило установить зависимость между скоростями накопления органического вещества от темпов седиментации кремнистого материала (Рисунок 41). Однако при этом в образцах третьей пачки, в интервале которой зафиксированы максимальное для баженовской свиты содержание скелетов радиолярий и связанного с ними кремнистого материала, наблюдаются минимальные концентрации органического вещества. В случае, если органическое вещество было бы связано с радиоляриями, в интервале третьей пачки наблюдались бы максимальные концентрации ОВ, а не минимальные, что зафиксировано по результатам пиролитических исследований. На основе этих наблюдений можно предположить, что накопление органического вещества в баженовской свите в первую очередь связано с бесскелетными организмами Западно-Сибирского моря. В то же время стоит отметить, что автор не отрицает возможного влияния радиолярий в накоплении органического вещества баженовской свиты, однако их роль была незначительной, на что ранее указывал Ю.Н. Занин [2008]. Таким образом, увеличение биопродуктивности радиолярий в ранне-средневожское

время, как консументов первого уровня, являлось следствием увеличения биопродуктивности бесскелетных первичных продуцентов.

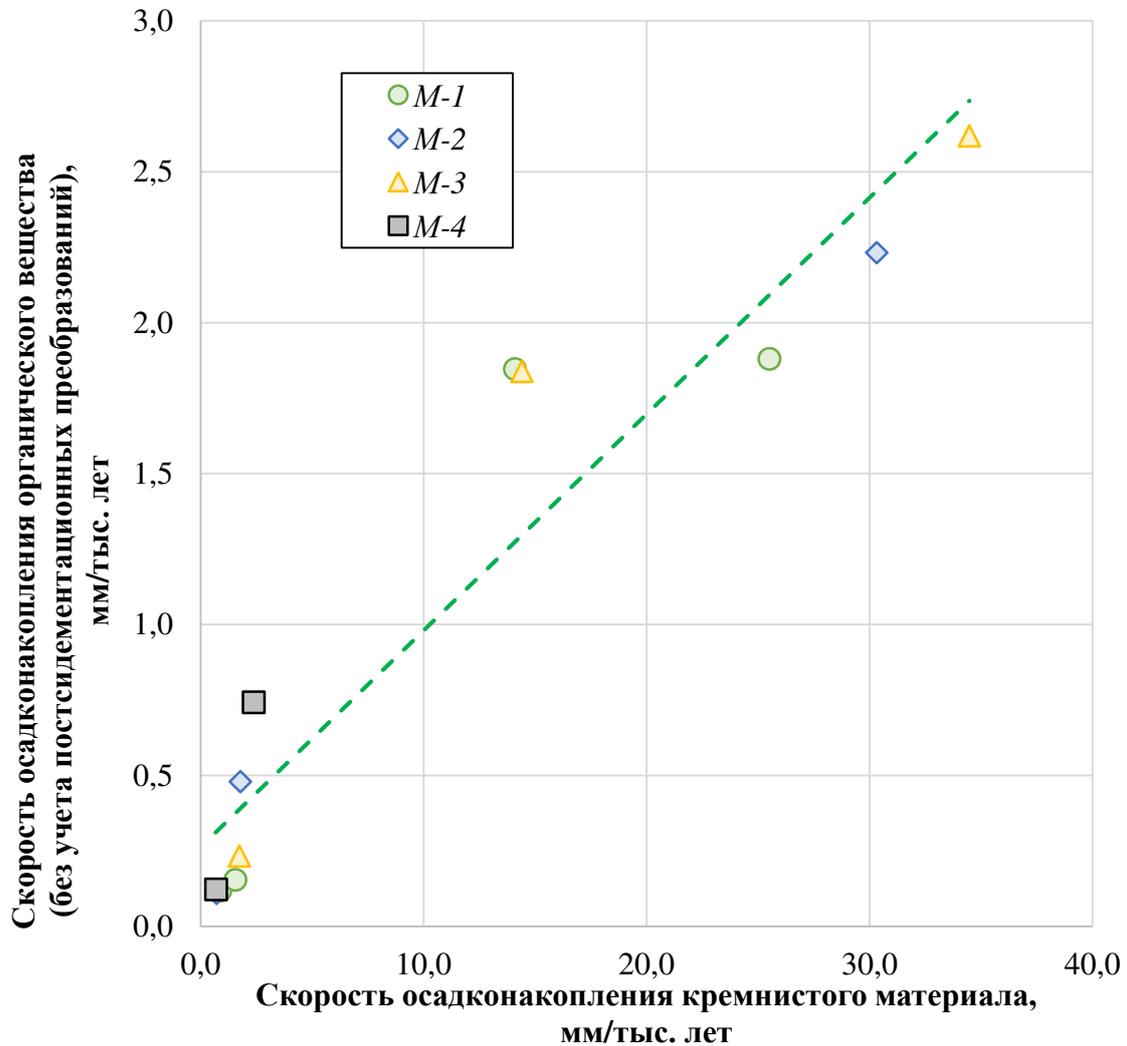


Рисунок 41 – Зависимость скоростей осадконакопления органического вещества от кремнистого материала в пачках баженовской свиты в разрезах изученных скважин.

О наличии карбонатных прослоев в нижней части баженовской свиты ранее писали [Булынникова и др., 1978; Захаров, Сакс, 1983; Панченко и др., 2016 и др.]. Зафиксированные маломощные прослои с повышенным содержанием карбонатных минералов в нижней толще баженовской свиты могут свидетельствовать о временной аэрации придонных вод [Эдер и др., 2022] и вероятной смене их окислительно-восстановительной среды.

В сравнении с образцами слоя 3b в четвертной пачке зафиксировано уменьшение кремнистой компоненты и увеличение содержания в породах органического вещества и пирита. Наблюдается рост содержания оксидов алюминия, калия и титана (см. Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3»).

Условные обозначения см. на рисунке 12.

), и, как следствие, глинистых минералов. Вследствие этого наблюдается незначительное уменьшение значений отношения  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  в породах пачки 4 (см. Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3»).

Условные обозначения см. на рисунке 12.

), что свидетельствует о большем привносе терригенной составляющей при по-прежнему преобладающем кремнистом биогенном типе.

Анализ скоростей осадконакопления «высокоуглеродистой» четвертой пачки показал уменьшение (в среднем в 26.5 раз в сравнении с третьей пачкой) значений темпов седиментации до минимальных для баженовской свиты (в среднем – 2.0 мм/тыс. лет). Породы здесь сильно конденсированы, их формирование происходило при очень низком темпе седиментации (см. Рисунок 39 – Гистограмма распределения оцененных скоростей осадконакопления выделенных пачек и доля участия в седиментации компонентов.

Условные обозначения: 1 – кремнистое вещество; 2 – глинистые минералы; 3 – органическое вещество; 4 – другие компоненты.

), что подтверждается их литологическим составом, в том числе резко повышенным содержанием органического вещества [Панченко и др., 2016].

По результатам оцененных темпов седиментации наблюдается уменьшение скоростей накопления кремнистого материала и органического вещества. Можно предполагать, что сокращение биопродуктивности кремнийсодержащих живых организмов (радиолярий) в средне-поздневожское время могло быть следствием резкого уменьшения биопродуктивности продуцентов первого уровня. Причинами, повлиявшими на резкое изменение биопродуктивности живых организмов, могли быть изменения температуры, прозрачность, соленость и динамика вод, высокое содержание в них биофильных элементов и их насыщенность растворенными газами [Амон и др., 2021].

В научных трудах последнего десятилетия [Панченко и др., 2015; Булатов и др., 2017; Бумагина и др., 2018; Шалдыбин и др., 2018; Панченко и др., 2021]

неоднократно отмечалось, что в породах верхов средневожского-рязанского времени (слои 3b, 4a, 4b, 5a баженовской свиты) зафиксированы прослойки туфов и туффитов различной мощности (от первых миллиметров до сантиметра). Находки вулканогенных частиц в отложениях баженовского горизонта упоминались также в работах [Дорофеева и др., 1983; Ермолова, 2003; Предтеченская, Малюшко, 2016]. Причем интересно отметить, что прослойки туффитов (маломощных серий ритмичного чередования тончайших слоев пирокластического материала с биогенными силицитами) приурочены к верхам слоя 3b и низам слоя 4a, в то время как прослойки туфов (концентрированные скопления тефры) зафиксированы в верхней половине слоя 4a, а также слоях 4b и 5a [Панченко и др., 2021]. Как упоминалось ранее, в настоящей диссертационной работе были изучены дезинтегрированные образцы керна, что делает практически невозможным обнаружение прослоев вулканогенного материала в разрезах свиты. Однако исследователями [Панченко и др., 2021] убедительно доказано, что туфовые и туффитовые прослойки в баженовской свите прослеживаются на большей части Западно-Сибирского осадочного бассейна (в том числе и на Малобалыкской площади) и хорошо сопоставляются в межскважинном пространстве. В связи с этим, автор считает, что в изученных им разрезах скважин также присутствуют туффитовые и туфовые прослойки.

Вулканические события с большими объемами выбросов газа и пеплового материала могли привести к изменению климата и количества солнечного света в атмосфере Земли, что, несомненно, могло повлиять на биопродуктивность первичных продуцентов и, как следствие, консументов первого уровня – радиолярий. Таким образом, резкое сокращение биопродуктивности живых организмов, существовавших в Западно-Сибирском море в вожском веке, по-видимому, связано с влиянием вулканической деятельности.

Содержание карбонатного вещества в 4 пачке не превышает 5.7%. В её верхах были зафиксированы редкие остатки кокколитофорид, которые в большем количестве встречаются выше по разрезу свиты. Ранее наличие таких остатков в

этой части разреза баженовской свиты было отмечено в работе [Эдер и др., 2022]. Вероятно, именно в поздневолжское-раннерязанское время началась постепенная смена преимущественно кремниевого биогенного типа седиментации на карбонатно-кремниевую (слой 5a) и далее на преимущественно карбонатную (слой 5b).

Самой неоднородной среди выделенных пачек является пятая, а ее особенностью является повышенное содержание карбонатных минералов. Повышенное содержание карбонатного вещества в этой части разреза связано с остатками кокколитофорид, двустворчатых моллюсков, диноцист. Смена преобладающего типа седиментации произошла в связи со сравнительно резким преобразованием геохимической среды Западно-Сибирского моря. Исследователи связывают данный факт с изменением климата [Weissert H. et al., 1996; Tremolada F. et al., 2006; Follmi K.V., 2012; Эдер и др., 2022], состава поступающих в бассейн продуктов химического выветривания [Конторович и др., 2013], окислительно-восстановительных условий иловых вод [Зубков, 2016], уменьшением глубин бассейна [Эдер и др., 2022], глобальным кризисом в развитии радиолярий [Afanasieva, Amon, 2006]. Интересным является установленное по изотопно-кислородным кривым сравнительно резкое уменьшение температуры в позднеязанское время [Price et al., 2004], что могло привести к повышению растворимости необходимых для существования живых организмов газов в морской воде.

Повышенное содержание органического вещества как для большей части пятой, так и в четвертой пачках, объясняется спокойным тектоническим и гидродинамическим режимами, обеспечивающими высоковосстановительные условия осадконакопления, по-прежнему сравнительно низким приносом глинистых минералов, а также высокой биопродуктивностью живых организмов [Эдер и др., 2022].

Содержание кремнистой компоненты в интервале пятой пачки постепенно уменьшается вверх по разрезу. Концентрация глинистой составляющей,

содержание оксидов алюминия, калия и титана, а также значения отношения  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  для большей части пятой пачки сохраняют спокойный характер. Исключение составляет верхняя часть баженовской свиты (слой 5с) (ранневаланжинское время), в которой отмечается резкое увеличение в породах  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ , как следствие глинистых минералов, а также значительное уменьшение отношения  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (см. Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3».

Условные обозначения см. на рисунке 12.

), что свидетельствует о смене типа седиментации на преимущественно терригенную. Повышенный привнос в Западно-Сибирское море глинистой компоненты повлекли за собой ухудшение условий для существования живых организмов, что, в свою очередь, послужило причиной уменьшения биопродуктивности и сокращения доли биогенной составляющей в породах [Конторович и др., 2013].

Средние скорости осадконакопления в интервале пятой пачки в сравнении с четвертой несколько увеличились и составляют 8.9 мм/тыс. лет, однако стоит иметь в виду, что в работе показаны средние значения для пачки и в зависимости от слоя они изменялись. Значение отношения темпов осадконакопления кремнистого материала к глинистым минералам резко снижается (с 4.4 для четвертой пачки до 1.7), что также подтверждает ранее сделанные выводы об увеличении роли терригенного осадконакопления, особенно во время накопления слоя «с» пачки 5.

Наряду с изменением типа осадконакопления и уменьшением биопродуктивности в приграничной зоне баженовской свиты и подачимовской толщи, по результатам расчета степени пиритизации была установлена смена высоковосстановительных условий седиментогенеза на умеренно восстановительные (значения степени пиритизации изменяются от 0.85 до 0.66). Выявленные в это время особенности исследователи связывают с регрессивной стадией развития Западно-Сибирского бассейна [Наг, 2014, 2018; Gradstein et al., 2020], приближением областей сноса и возможным изменением их рельефа.

## **4.2. Влияние палеорельефа на формирование баженовской свиты**

В результате детального изучения геологии баженовской свиты в последнее десятилетие специалистами разных организаций было установлено влияние

локальных палеогеографических особенностей на литологический состав пород и их коллекторские свойства [Немова, Панченко, 2017; Хотылев и др., 2019; Фомина и др., 2019; Эдер и др., 2022 и др.]. В настоящей работе было проведено изучение приуроченности скважин к современному структурному плану и выполнен палеоструктурный анализ на основе построенной карты толщин баженовской свиты. Для этого по результатам расчленения разрезов на основе данных геофизических исследований скважин, а также геолого-промысловой информации (альтитуда, инклинометрия) были построены структурная карта по подошве баженовской свиты (Рисунок 42 – Структурная карта по подошве баженовской свиты. Условные обозначения: 1 – контуры положительных тектонических элементов третьего порядка [Конторович и др., 2001]; 2 – изученные разрезы; 3 – скважины с испытаниями в интервале баженовской свиты; 4 – скважины, используемые в картопостроении.

) и карта ее толщин (Рисунок 43 – Карта толщин баженовской свиты [Саитов, 2023].

Условные обозначения см. на рисунке 42.

) [Саитов, 2023].

Согласно структурной карте, скважины М-1, М-2 и М-3 находятся в приподнятой части территории исследования вблизи положительного тектонического элемента III порядка – Малобалыкского куполовидного поднятия (см. Рисунок 42 – Структурная карта по подошве баженовской свиты.

Условные обозначения: 1 – контуры положительных тектонических элементов третьего порядка [Конторович и др., 2001]; 2 – изученные разрезы; 3 – скважины с испытаниями в интервале баженовской свиты; 4 – скважины, используемые в картопостроении.

) [Конторович и др., 2001]. Скважина М-1 расположена на востоке поднятия, М-2 в его северной, а М-3 в юго-западной части. Скважина М-4 расположена севернее и приурочена к пологозалегающему в современном структурном плане участку (см. Рисунок 42 – Структурная карта по подошве баженовской свиты.

Условные обозначения: 1 – контуры положительных тектонических элементов третьего порядка [Конторович и др., 2001]; 2 – изученные разрезы; 3 – скважины с испытаниями в интервале баженовской свиты; 4 – скважины, используемые в картопостроении.

).

В результате анализа толщин баженовской свиты установлено, что в среднем ее мощности изменяются в диапазоне от 29 до 33 м, причем повышенные значения наблюдаются в западной части исследуемой территории, а пониженные – в восточной. Вероятно, это может быть связано с постепенным увеличением глубин моря в западном направлении (в современных координатах). Исключение составляет локальный участок резко уменьшенных толщин (до 24 м), приуроченного к западной части исследуемого района. Скважины М-1, М-2 и М-3 расположены вблизи этой зоны. Анализируя их положение на карте (см. Рисунок 43 – Карта толщин баженовской свиты [Саитов, 2023].

Условные обозначения см. на рисунке 42.

), следует отметить значительную разницу мощностей баженовской свиты. Толщина баженовской свиты в разрезах скважины М-2 составляет 25 м, в скважинах М-1 и М-3 – 30 и 32 м соответственно. 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, на территории которой толщины свиты увеличиваются до 35 м [Саитов, 2023].

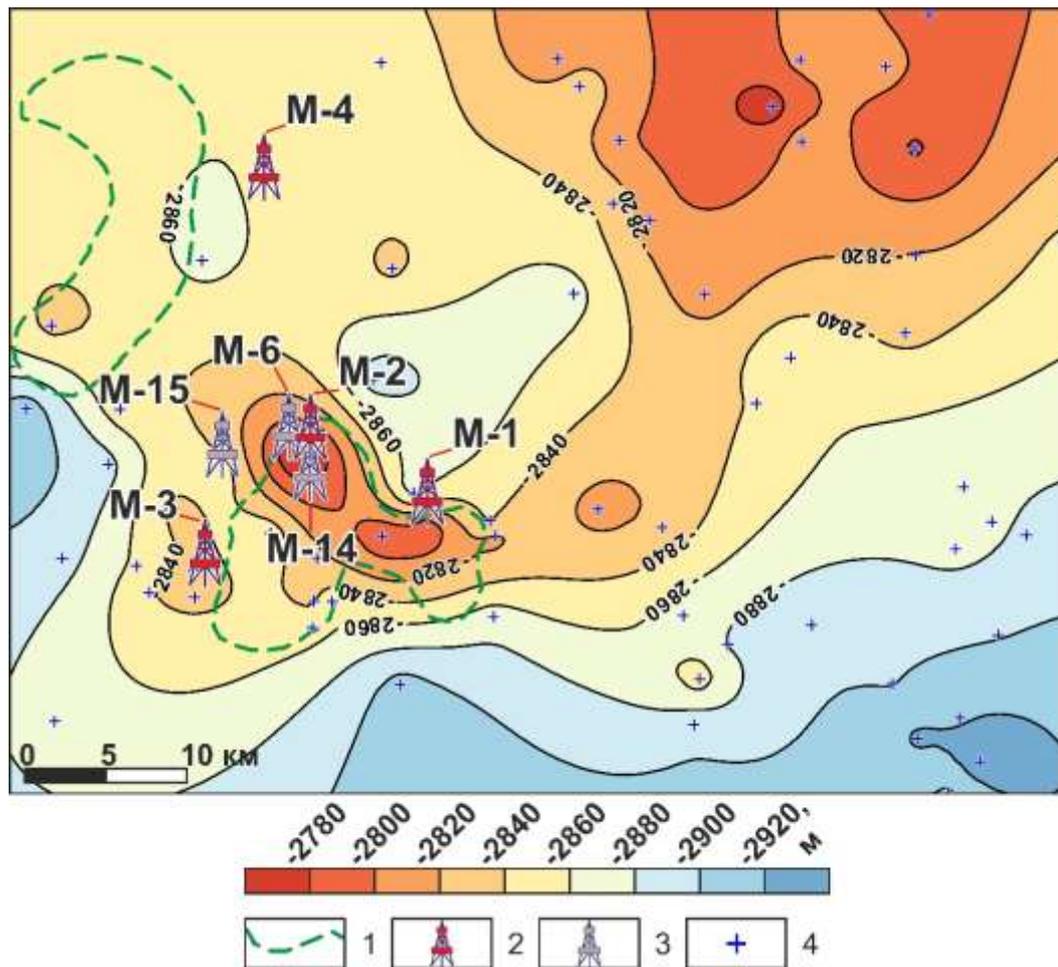


Рисунок 42 – Структурная карта по подошве баженовской свиты.

Условные обозначения: 1 – контуры положительных тектонических элементов третьего порядка [Конторович и др., 2001]; 2 – изученные разрезы; 3 – скважины с испытаниями в интервале баженовской свиты; 4 – скважины, используемые в картопостроении.

Сравнительный анализ результатов расчленения баженовской свиты в скважинах показал увеличение толщин практически всех выделенных пачек в разрезах от скважины М-2 к М-1. Исключение составляет третья пачка. О.В. Хотылев с соавторами [2021] считают, что распределение и морфология

радиолярий в пачке 3 контролируется положением разреза относительно оси палеотечения: радиоляриты отсутствуют в осевой части, а максимальные их толщины расположены на поднятиях, как участках с наличием «теневых» зон на пути палеотечений. Совокупность перечисленных факторов подтверждает нахождение скважины М-2 в купольной части палеоподнятия, а М-1 – на его склоне. Однако при этом исследователи [Хотылев и др., 2021] утверждают, что количество карбонатного вещества уменьшается по направлению к погруженным участкам палеобассейна, в то время как максимальная толщина пятой пачки (и, в частности, наиболее карбонатного слоя 5b) зафиксирована в разрезе скважины М-1. Это означает, что в восточной части палеоподнятия существовали факторы, приводящие к повышенной биопродуктивности карбонатсодержащих живых организмов (кокколитофорид, двустворчатых моллюсков, диноцист).

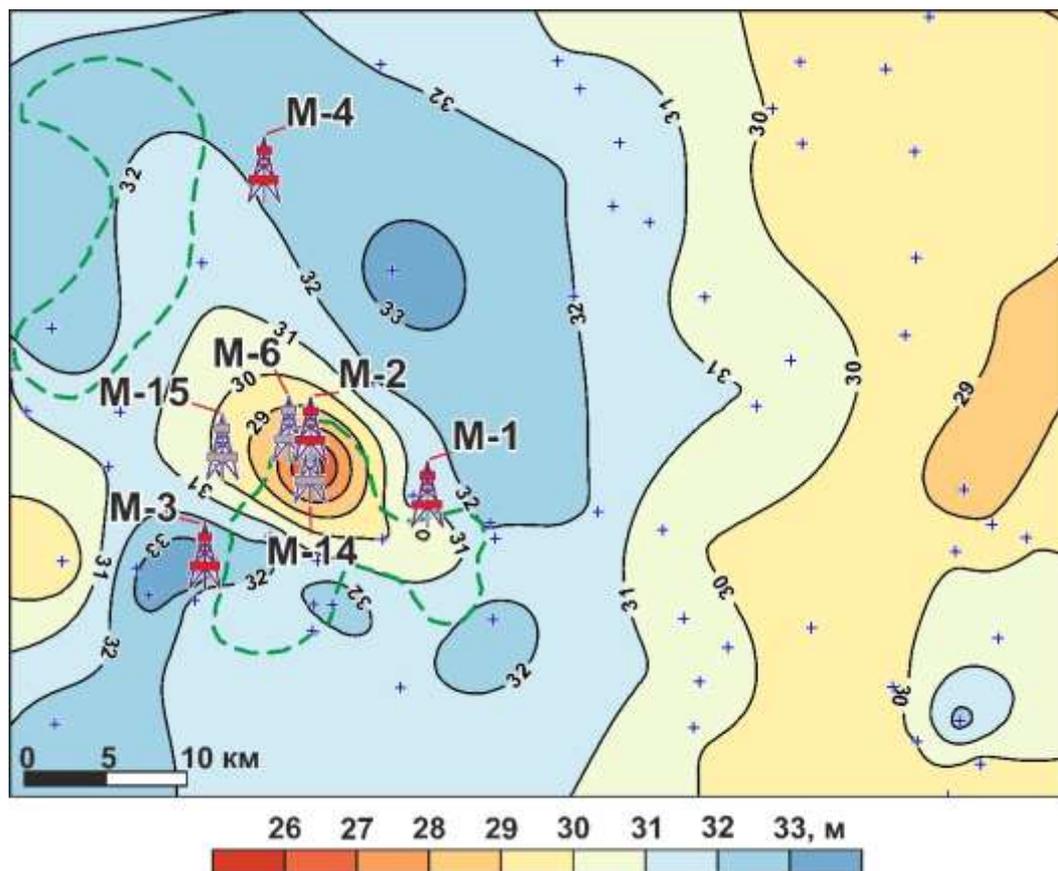


Рисунок 43 – Карта толщин баженовской свиты [Саитов, 2023].

Условные обозначения см. на рисунке 42.

Большая часть карбонатных образований формируется на сравнительно небольшой глубине в теплой морской среде, характеризующейся высокой степенью прозрачности. Помимо глубины залегания, температуры водной среды и ее прозрачности выделяют значимость солености вод, баланса  $\text{CO}_2$ , отсутствия терригенного осадконакопления. Также важным фактором, влияющим на процессы карбонатонакопления выделяют режим течений. Ранее Дж. Л. Уилсоном [1980] было установлено, что восходящие морские течения и активное движение воды побуждают к развитию биопродуктивности карбонатсодержащих живых организмов за счет удаления  $\text{CO}_2$  и привноса питательных веществ свежей морской воды. Таким образом, повышенное содержание карбонатной составляющей в слое 5b баженовской свиты в разрезе скважины М-1 можно также объяснить гидрологическим фактором, воздействующим на восточный склон палеоподнятия.

В работах [Немова, Панченко, 2017; Фомина и др., 2021] показана связь полноты разреза баженовского горизонта, толщин пачек, их литологического состава и коллекторских свойств пород со структурным и палеоструктурным положением скважин. Таким образом, зафиксированная в настоящей работе закономерность изменения толщин баженовской свиты (изменение более 10 м на расстоянии 10 км), мощностей выделенных пачек, а также различия в литологическом составе и фильтрационно-емкостных свойствах [Саитов и др., 2023] с палеоструктурным планом, по аналогии с ранее опубликованными исследованиями позволяет выделить на изучаемой территории три типа разреза: «сводовый» (разрез скважины М-2), «склоновый» (разрез скважины М-1) и «погруженный» (разрез скважины 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 (см.

Рисунок 43 – Карта толщин баженовской свиты [Саитов, 2023].

Условные обозначения см. на рисунке 42.

). Толщина свиты в разрезе этой скважины составляет 32.4 м, что позволяет предположить, что осадконакопление происходило в глубокой и равнинной части палеодна (сравнительно с расположением скважин М-1 и М-2).

Таким образом, установлено, что основные изменения темпов седиментации в пределах изучаемой территории связаны с биопродуктивностью радиолярий, при этом кремнескелетные организмы не оказывали существенного влияния на накопление органического вещества. Показано, что сокращение биопродуктивности живых организмов, существовавших в Западно-Сибирском море в волжском веке, могло быть связано с влиянием вулканической деятельности. Установлено, что скорости осадконакопления баженовской свиты были непостоянны во времени. Максимальная скорость седиментации отмечается во время накопления третьей пачки (вторая половина средней волги).

Доказано, палеорельеф морского дна в конце юры – начале мела оказал влияние на процессы осадконакопления в пределах изучаемого района, что нашло свое отражение в значительном отличии в мощностях баженовской свиты, выделенных пачек и их литологическом составе. На этом основании были выделены «сводовой», «склоновый» и «погруженный» типы разрезов баженовской свиты.

## ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

В процессе геологического изучения баженовской свиты неоднократно предпринимались попытки выявления геологических критериев, влияющих на ее нефтеносность, а также выделения наиболее перспективных зон для поиска в ней нефти [Новиков и др., 1970; Салымский нефтеносный район, 1971; Гурари Ф.Г., Гурари И.Ф., 1974; Зарипов, Нестеров, 1977; Краснов и др., 1978; Гурари Ф.Г., 1979; Корж, Филина, 1980; Зарипов и др., 1980; Скоробогатов, 1980; Гурари Ф.Г., 1981; Гурари Ф.Г., 1984; Скоробогатов, Краснов, 1984; Филина и др., 1984; Ф.Г. Гурари, 1988; Зубков, 2002; Скворцов и др., 2018а; Скворцов и др., 2018б; Конторович и др., 2019; Фомин М.А. и др., 2020 и др.]. Считается, что высокое содержание органического углерода (Ф.Г. Гурари, И.Ф. Гурари, О.Г. Зарипов, Н.П. Запивалов, В.Ф. Никонов, Г.П. Сверчков, В.А. Успенский, А.Э. Конторович, И.И. Нестеров, С.Г. Неручев и др.) и достаточная его зрелость (Ф.Г. Гурари, И.Ф. Гурари, И.И. Аммосов, Л.И. Богородская, А.Э. Конторович, А.Н. Фомин и др.), зачастую коррелирующая с пластовыми температурами (С.Г. Краснов, М.Д. Хуторской и др.), обуславливают большие объемы генерируемых углеводородов, а хорошая изолированность выше- и нижележащими флюидоупорами (М.В. Корж, С.И. Филина, В.А. Скоробогатов, Ф.Г. Гурари, М.Ю. Зубков и др.) должна препятствовать миграции углеводородов и исчезновению залежей.

На основе вышеперечисленных геологических критериев ученые строили карты перспектив нефтеносности и выделяли территории разных категорий перспективности. Однако еще на ранних этапах изучения свиты было установлено, что локализация скважин с промышленными притоками нефти не всегда обусловлена ранее описанными критериями нефтеносности, а продуктивность скважин, находящихся в нескольких десятках километров друг от друга даже в высокоперспективных зонах, может сильно отличаться [Гурари Ф.Г. 1988, Коробова и др., 2015; Эдер и др., 2016; Фомина и др., 2021; Хотылев и др., 2021; Эдер и др. 2021, Эдер и др., 2022; и др.]. Разница в коллекторских свойствах

обусловлена минерально-компонентным составом пород, их текстурными и структурными особенностями, что в свою очередь связано с локальными условиями осадконакопления и вторичными изменениями. Все это затрудняет прогноз нефтеносности баженовских отложений и подсчет запасов даже в пределах одной площади.

Согласно временному методическому руководству по подсчету запасов нефти в баженовской свите [Временное методическое руководство..., 2017] выделяются коллектора I и II типов, а также интервалы-неколлекторы. Коллекторами I типа называются интервалы разреза, породы которых вмещают пластовый флюид и способны отдавать его при разработке. Коллекторами II типа – интервалы разреза, породы которых приобщаются в разработку после применения операции гидравлического разрыва пласта.

Коллекторы в баженовской свите образуются в кремнистых, кальцитизированных, доломитизированных радиоляритах, фосфатных и кремнисто-фосфатных породах, отличающихся от вмещающих пород более низкими содержаниями глин и органического вещества. Общими признаками интервалов-коллекторов, устанавливаемыми по результатам лабораторных исследований, являются:

- характерное для углеводородов свечение пород в ультрафиолетовом свете;
- пониженные концентрации глин, органического вещества и пирита в породах;
- повышенное содержание кремнистой и карбонатной составляющей в породах, присутствие фосфатных разностей;
- наличие подвижной нефти по результатам пиролитических исследований;
- наличие подвижной нефти по данным ядерно-магнитного резонанса;
- повышенная хрупкость пород, определенная по результатам геомеханических или акустических исследований на образцах керна [Временное методическое руководство..., 2017].

Дополнительными признаками коллекторов I типа являются повышенные значения пористости образцов до и после экстрагирования, значительно превышающие средние, а II типа – наличие интервалов толщиной более 40 см, содержащие скопления карбонатных и карбонатно-фосфатных линз размером первые и/или линзовидных прослоев кремнистых или карбонатизированных радиоляритов.

Неколлекторами в баженовской свите считаются карбонатно-глинисто-кремнистые тонкослоистые и высокоуглеродистые породы, пустотное пространство которых в основном представлено микропорами, содержащими сорбированную нефть, не способную к перемещению в пласте в условиях применения современных технологий гидравлического разрыва пласта при перепадах давления, достижимых в процессе разработки [Временное методическое руководство..., 2017].

В рамках настоящего исследования выделение коллекторов выполнялось на основе комплексного анализа литологического состава свиты, фильтрационно-емкостных свойств пород, пиролитических параметров органического вещества, а также сведений о результатах испытаний баженовской свиты на приток и данных ГИС.

В интервале глубин 2937 – 2957 м в разрезе скважины М-1 из баженовской свиты был получен приток пластового флюида объемом 29 м<sup>3</sup>, из которых 26.97 м<sup>3</sup> составила нефть. Для скважин М-2, М-3 и М-4 данные об опробовании интервала баженовской свиты на приток отсутствуют. Интервал испытания в скважине М-1 охватывает 1, 2 и 3 пачки баженовской свиты, а также верхи абалакской свиты (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

). В интервале опробования по литологическому составу и данным ГИС резко выделяется слой 3в в котором отмечается повышенное содержание кремнистой

составляющей (до 87.2 %) и пониженные концентрации глин, органического вещества и пирита. По результатам пиролиза были зафиксированы максимальные для всей баженовской свиты значения параметра  $S_1$  (до 10.5 мг УВ/г породы) [Фомин и др., 2022]. На графике зависимости параметра  $S_1$  от значений ТОС большинство образцов из этого слоя выделяются повышенными значениями индекса Джарви (OSI) (Рисунок 44) [Саитов и др., 2023].

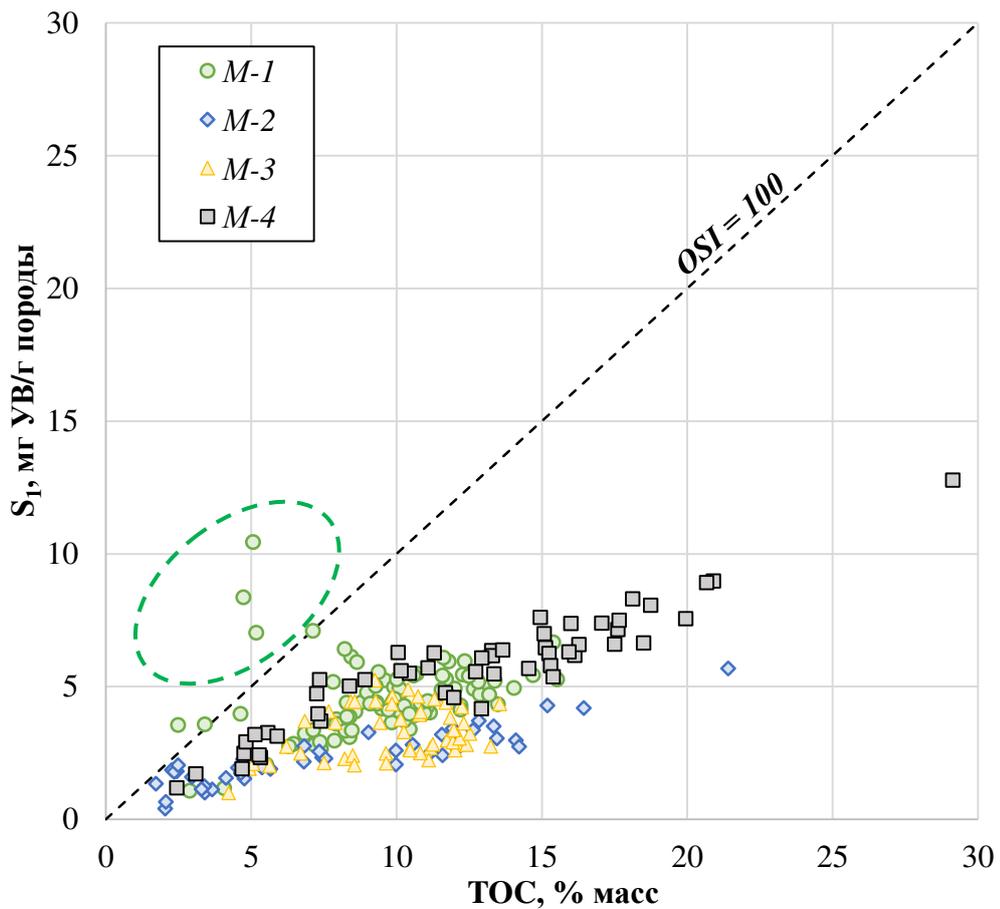


Рисунок 44 – Зависимость параметра  $S_1$  от ТОС в изученных разрезах.

По результатам петрофизических исследований было установлено, что значения пористости до экстракции в этом слое изменяются от 2.3 до 7.5 % (при среднем арифметическом для всего интервала баженовской свиты 2.5 %), а после экстракции значения достигают 11.3 % (при среднем – 4.4 %) [Саитов, 2022; Фомин и др., 2023]. Как уже упоминалось ранее, породам этого слоя соответствуют низкие концентрации органического углерода и высокое содержание кремнистой

компоненты, что способствует увеличению объемной плотности и, как следствие, росту скоростей прохождения упругих продольной и поперечной волн, что косвенно свидетельствует о повышенной хрупкости этих пород.

Как указывалось в Главе 3, в слое 3b баженовской свиты в разрезе скважины М-1 зафиксированы многочисленные фрагменты скелетов радиолярий округлой и конусообразной формы, содержание которых достигает 70 % (см. Рисунок 26 – Породы пачки 3.

а – силицит с радиоляритовым прослоем в слое «b». Наблюдаются радиолярии с хорошо сохранившимися скелетами, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-4, гл. 2895.67 м); б – силицит с радиоляритовым прослоем (до 60 % скелетов радиолярий) в слое «b». Встречаются радиолярии с хорошо сохранившимся скелетом, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-1, гл. 2937.53 м); в – силицит с множественными остатками радиолярий с крупным включением органического вещества в слое «b» (скв. М-3, гл. 2957.76 м); г – силицит с множественными остатками радиолярий, изредка пиритизированными в слое «b» (скв. М-4, гл. 2897.06 м).

б). В большинстве случаев они раскристаллизованы, а их пустотное пространство занято кремнистым материалом. Некоторые из них заполнены глинисто-кремнистым или органическим веществом, реже – карбонатными минералами.

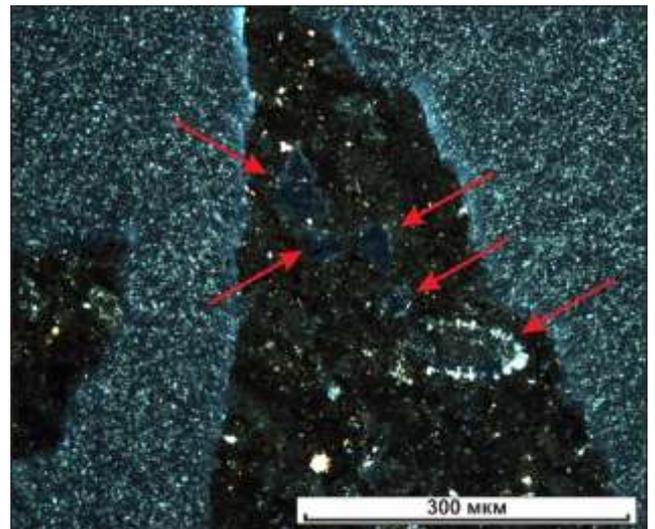
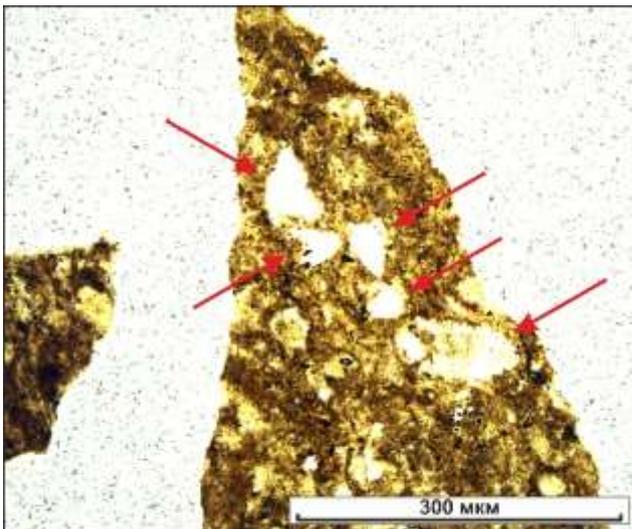
Подробное изучение проэкстрагированных образцов с максимальными значениями открытой пористости ( $K_{п.о.}$ ) и параметра  $S_1$  в шлифах, приуроченных к интервалу коллектору слоя 3b, позволило установить в них наличие скелетов радиолярий (до 30 %), не заполненных какими-либо минеральными компонентами, а также ОВ (Рисунок 45). Причем в этих образцах наблюдается лишь контур скелетов радиолярий, в то время как его внутренняя часть, как правило, отсутствует. Исследователями ранее отмечалось, что высокое содержание скелетов радиолярий в породах может быть признаком наличия в них коллектора [Дорофеева, 1983; Немова, 2012; Балущкина и др., 2014; Балущкина и др., 2015; Васильев и др., 2015; Зубков, 2016; Немова, Панченко, 2017; Макарова и др., 2018; Рослякова и др., 2019; Фомина и др., 2021 и др.], а значительное увеличение пустотного пространства в них может быть связано с растворением кремнезема радиолярий щелочными растворами [Немова, 2012; Балущкина и др., 2014; Макарова и др., 2018; Рослякова и др., 2019; Фомина и др., 2021 и др.]. В научных

трудах разных лет сообщалось о притоках нефти из уплотненного высококремнистого интервала в центральной части разреза баженовской свиты, в том числе связанного с радиоляритовыми слоями [Гурари, 1988; Немова, Панченко, 2017, Саулина, 2017 и др.].

Таким образом, в центральной части баженовской свиты в интервале глубин 2938.0 – 2940.3 м в разрезе скважины М-1 (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

) выделяется коллектор II типа [Саитов и др., 2023]. Тип коллектора обусловлен тем, что опробование свиты на приток происходило после использования технологии гидроразрыва пласта (ГРП).



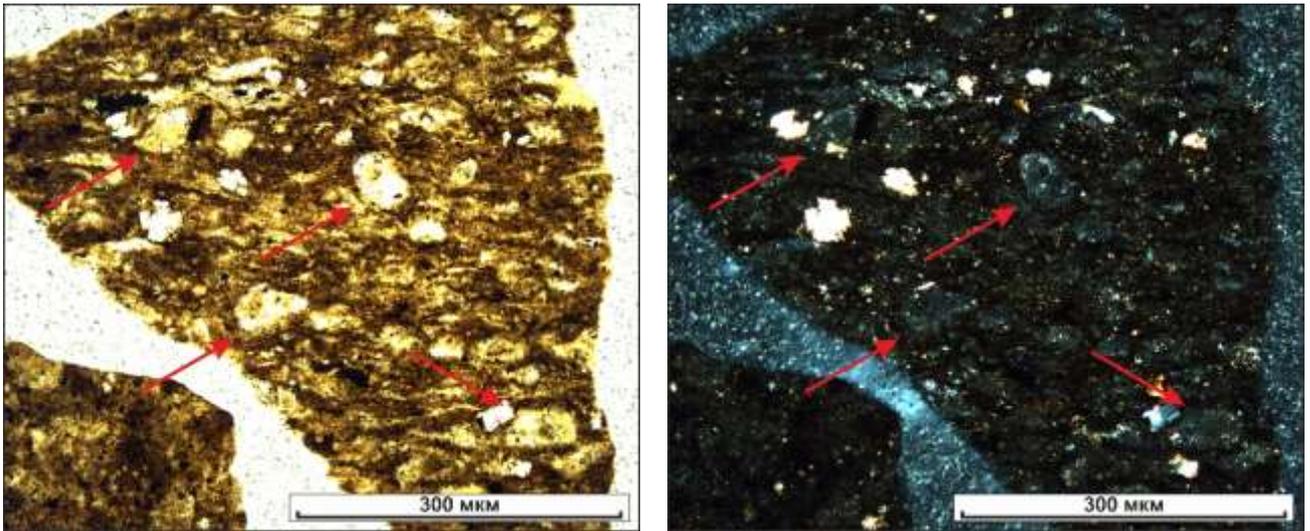


Рисунок 45 – Скелеты радиолярий с растворенным внутренним пространством (показаны стрелочками) в образцах с максимальными значениями пористости (слева – ||, справа – ⊗) (скв. М-1, гл. 2940.14 м).

Значения открытой пористости в образцах пачек 1, 2, 4, 5, а также слоя 3а в разрезе скважины М-1 в целом сохраняют спокойный характер и изменяются от 2.4 до 8.1 % (см. Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1.

Условные обозначения: 1 – силицит керогеновый, силицит кероген-глинистый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый, кероген-кремнисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный, карбонатно-кремнистый, кероген-карбонатный, карбонатный; 7 – микстит глинистый, кероген-глинистый, кремнисто-глинистый, кероген-кремнисто-глинистый; 8 – аргиллит, в т.ч. керогеновый; 9 – карбонат, в т.ч. керогеновый; 10 – доломит; 11 – микстит керогеновый.

), причем для большей части они находятся в диапазоне 3-5 % (55 % от общего количества) (Рисунок 46). Значения параметра  $S_1$  и индекса Джарви также сохраняют спокойный характер и изменяются в сравнительно узких пределах. Единственным исключением является образец, приуроченный к верхней части пачки 5, где индекс Джарви превышает 100, что объясняется его повышенной карбонатностью (74.4 %) и низким значением ТОС (3.4 % масс.), при  $S_1 = 3.6$  мг УВ/г породы и  $K_{п.о.} 5.3$  %.

В интервале глубин 2946-2954 м наблюдается увеличение открытой пористости образцов, однако параметр  $S_1$  здесь характеризуется одними из наименьших для всей баженовской свиты значениями, которые не превышают 5.3 мг УВ/г породы.

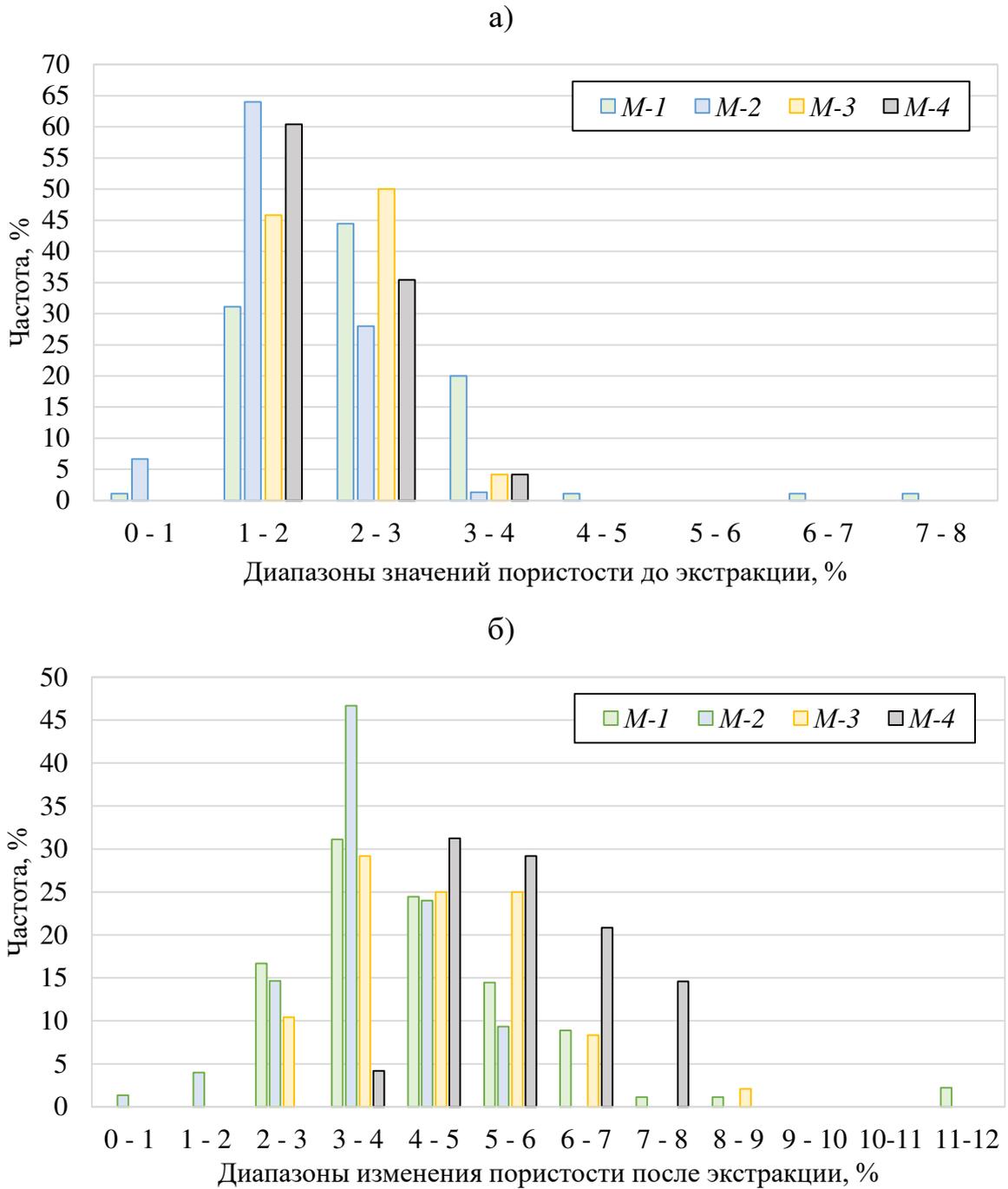


Рисунок 46 – Гистограммы распределения значений пористости до (а) и после (б) экстракции [Горшков, Сайтов, 2023].

К северо-западу, на Салымском месторождении, основной продуктивный интервал связан со слоем КС (корреляционный слой), приуроченный к верхам абалакской и низам баженовской свиты. Он представлен известняками, доломитами и смешанными известково-доломитовыми породами [Белкин и др.,

1983]. В связи с тем, что интервал опробования охватывает и низы абалакской свиты, возможно, в разрезе скважины М-1 эта часть разреза также является продуктивной. Однако этот интервал не охарактеризован керновым материалом, поэтому установить это не представляется возможным.

Как уже упоминалось ранее, данные об опробовании в разрезах скважин М-2, М-3 и М-4 отсутствуют. В слое 3b в этих разрезах также отмечено существенное увеличение кремнистой составляющей и уменьшение концентраций глинистых минералов, органического вещества и пирита. В этой связи наблюдается увеличение плотности пород и скоростей прохождения акустических волн, что может косвенно указывать на увеличенную хрупкость пород. Несмотря на схожий с разрезом скважины М-1 литологический состав и физические свойства пород, в их разрезах не наблюдается значительного увеличения пористости пород, а параметр  $S_1$  имеет фоновые для разреза свиты значения.

Разрез скважины М-2 охарактеризован 100 % выносом керна. Для всех образцов были выполнены петрофизические исследования, однако определение химического состава пород и пиролитических параметров содержащегося в них органического вещества проведено только для центральной и верхней частей баженовской свиты (см. Рисунок 13 – Геолого-геофизический планшет скважины М-2).

Условные обозначения см. на рисунке 12.

). Значения пористости до экстракции в интервале свиты изменяются от 0.3 до 3.1 % (в среднем – 1.7 %), а для 64 % образцов от общего количества – в диапазоне от 1 до 2 % (Рисунок 46а). Открытая пористость изменяется от 0.6 до 5.7 % (среднее – 3.7 %), а значения для большей части образцов (46.7 % от общего количества) находятся в диапазоне 3-4 % (Рисунок 46б). В целом, пористость распределена по разрезу равномерно. Однако худшие емкостные свойства зафиксированы именно в силицитах и керогеновых силицитах слоя 3b, а минимальными значениями пористости (до 0.6 %) охарактеризованы образцы, содержание кремнистого вещества в которых достигает 80-90 %.

Петрографические исследования показали, что радиолярии в образцах этого слоя раскристаллизованы, а их пустотное пространство полностью заполнено

кремнистым материалом (Рисунок 47). В результате изучения образцов на сканирующем электронном микроскопе было установлено, что они представляют собой сплошную массу преимущественно кремнистого состава с практически полным отсутствием в них пустот (Рисунок 48). Этот интервал охарактеризован минимальными среди изученных образцов значениями параметра  $S_1$ , что подтверждает результаты петрофизических исследований.

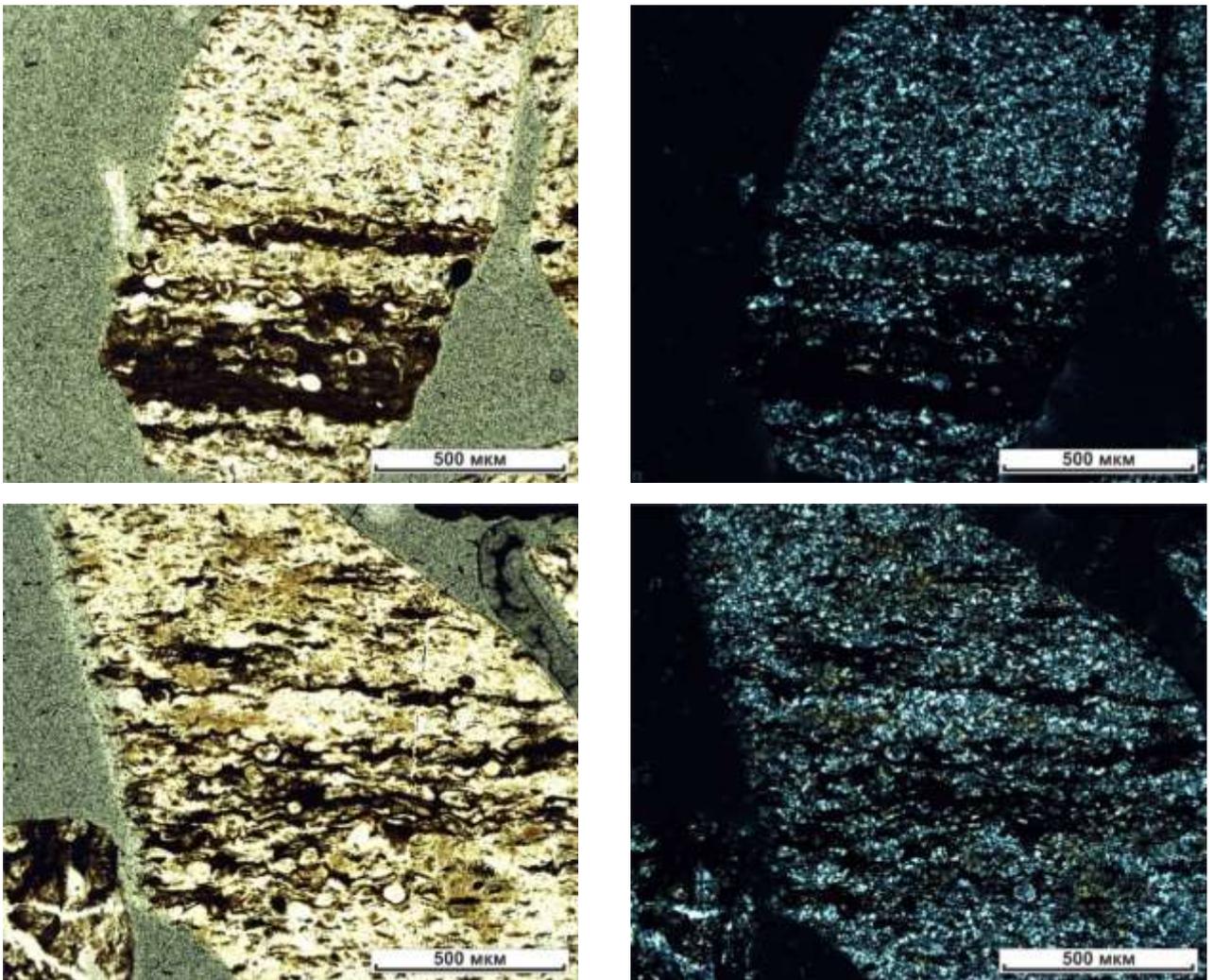


Рисунок 47 – Раскристаллизованные радиолярии с минимальными значениями пористости слоя «b» пачки 3 (слева – ||, справа – x) (скв. М-2, гл. 3020.63 м).

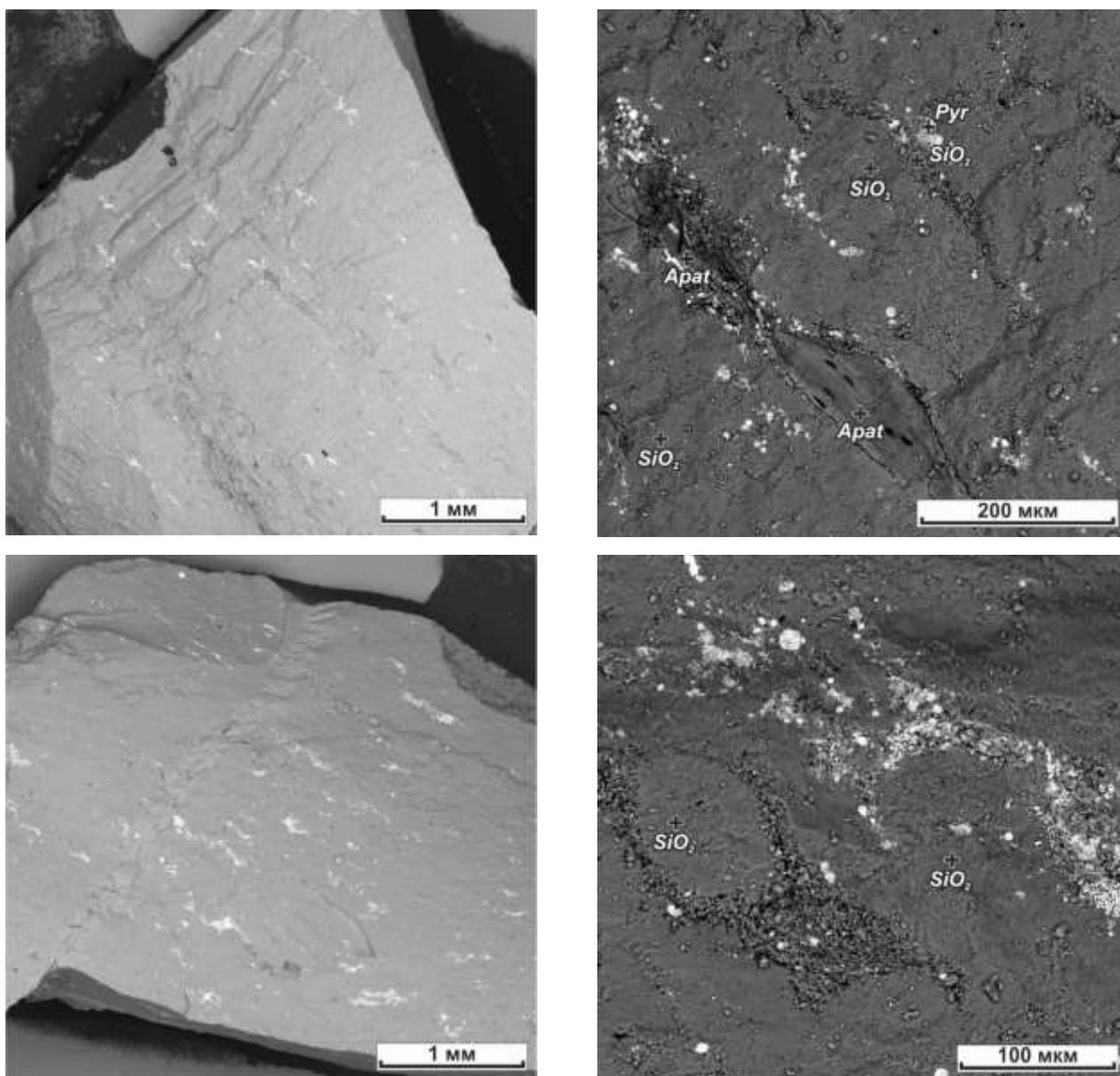


Рисунок 48 – Практически полное отсутствие пор в образце с минимальными значениями пористости слоя «b» пачки 3 (скв. М-2, гл. 3020.63 м).

В скважине М-3 отбор кернa был произведен из нижней половины баженовской свиты и охватывает пачки 1, 2, слой 3а и нижнюю часть слоя 3b (см. Рисунок 14 – Геолого-геофизический планшет скважины М-3.

Условные обозначения см. на рисунке 12.). Несмотря на схожий литологический состав с разрезами других скважин, по результатам исследований в изученных образцах пачки 3 вверх по разрезу вместе с плавным увеличением плотности образцов было зафиксировано уменьшение значений их пористости (до минимального  $K_{п.о.}$  2.4 %, при среднем 4.5 %) и параметра  $S_1$  (до минимального 1.9

мг УВ/г породы при среднем 3.3 мг УВ/г породы). В образцах верхов слоя 3а и 3б зафиксированы многочисленные скелеты радиолярий. Часть из них раскристаллизована, часть заполнена глинисто-кремнистым материалом и, реже, карбонатными минералами, что также ухудшает емкостные свойства пород.

В скважине М-4 отбор керн был произведен из верхней половины баженовской свиты и перекрывающих отложений (см. Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

). Свита характеризуется схожим литологическим составом с другими изученными в данной работе разрезами скважинам. Повышенное содержание в породах органического вещества связано со сравнительно низкой его зрелостью и более низкими пластовыми температурами (Таблица 5).

Таблица 5 – Характеристики изученных скважин.

<b>Параметр</b>	<b>М-1</b>	<b>М-2*</b>	<b>М-3*</b>	<b>М-4*</b>
С <sub>орг</sub> , масс. %	2.49 – 15.53	1.72 – 21.41	4.22 – 13.55	3.09 – 29.14
Зрелость ОВ R <sub>0</sub> , %	0.79	0.73	0.78	0.69
T <sub>пл</sub> , °С	109	103	111	85
P <sub>пл</sub> , МПа	323	327	321	-
Открытая пористость, %	2.38 – 11.34	0.64 – 5.71	2.39 – 8.46	3.14 – 7.51
Толщина свиты, м	30.5	25	30.3	33
Толщина перекрывающего Флюидоупора, м	23	19	21	16
Толщина подстилающего Флюидоупора, м	> 30	> 30	> 30	> 30
Глубина залегания кровли (отн.), м	2900	3010	2944	2880

\* – характеристики приведены для изученной части разреза.

В силицитах и силицитах керогеновых слоя 3б (скв. М-4) отмечается увеличение плотности и заметное увеличение пористости: именно здесь

наблюдаются максимальные значения  $K_{п.о.}$  среди всех изученных образцов в разрезе скважины (до 7.5 %) (исключение составляет образец с со сравнительно повышенным содержанием доломита). Однако параметр  $S_1$  в этом интервале наоборот характеризуется локальным минимумом, значения изменяются от 1.7 до 6.3 мг УВ/г породы. В результате петрографических исследований было зафиксировано большое количество скелетов радиолярий, раскристаллизованных и/или заполненных глинисто-кремнистым материалом, органическим веществом (см. Рисунок 26 – Породы пачки 3).

а – силицит с радиоляритовым прослоем в слое «b». Наблюдаются радиолярии с хорошо сохранившимся скелетами, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-4, гл. 2895.67 м); б – силицит с радиоляритовым прослоем (до 60 % скелетов радиолярий) в слое «b». Встречаются радиолярии с хорошо сохранившимся скелетом, раскристаллизованные, а также замещенные пиритом (||) (скв. М-1, гл. 2937.53 м); в – силицит с множественными остатками радиолярий с крупным включением органического вещества в слое «b» (скв. М-3, гл. 2957.76 м); г – силицит с множественными остатками радиолярий, изредка пиритизированными в слое «b» (скв. М-4, гл. 2897.06 м).

а).

Таким образом, в интервале баженовской свиты в разрезах скважин М-2, М-3 и М-4 несмотря на увеличение кремнистой составляющей и уменьшение содержания глинистых минералов, органического вещества и пирита, а также наличия скелетов радиолярий в центральной части баженовских отложений (слой 3а), не было отмечено высоких значений открытой пористости, параметра  $S_1$  и индекса Джарви. В ряде случаев образцы данного слоя характеризовались наихудшими характеристиками емкостных свойств, что связано с процессами раскристаллизации скелетов радиолярий и заполнением их пустотного пространства глинисто-кремнистым материалом, органическим веществом, карбонатными минералами. Ранее уже приводились сведения доказывающие, что в некоторых случаях условия осадконакопления и/или вторичные изменения могут значительно уменьшать объем пустотного пространства в баженовской свите и ее возрастных аналогах [Немова, 2012; Балущкина и др., 2014; Балущкина и др., 2015; Немова, Панченко, 2017 и др., Фомина и др, 2021].

В остальных частях разреза признаков коллектора, указанных в методическом руководстве [Временное методическое руководство..., 2017], зафиксировано не было. Таким образом, на основе результатов аналитических исследований можно сделать вывод, что в данных скважинах интервалы-коллекторы отсутствуют.

По данным ГИС 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. В то же время, как неоднократно указывалось выше, литологический состав слоя 3b во всех изученных скважинах аналогичен. Таким образом, можно сделать вывод, что результаты геофизических исследований скважин (за исключением данных ядерно-магнитного каротажа, которых в распоряжении автора не было), а также схожий литологический состав не могут гарантировать наличие коллектора и не являются прямым признаком продуктивных интервалов. Физические параметры разреза, определенные в рамках скважинных исследований, а также литологический состав могут свидетельствовать лишь о потенциально-продуктивных интервалах (Рисунок 49 – Геолого-геофизические плашеты разрезов скважин М-1, М-2, М-3 и М-4 с основными критериями выделения интервала-коллектора).

Условные обозначения см. на рисунке 12.

).

Все изученные скважины расположены в зоне наиболее высокой категории перспективности, в пределах которой содержание исходного органического вещества и значения его зрелости должны обуславливать генерацию нефти и образование залежей, а мощные выше- и нижележащие флюидоупоры должны препятствовать миграции углеводородов из баженовской свиты (см. Таблица 5). Таким образом, перечисленные выше региональные критерии не являются определяющим фактором, обуславливающим наличие залежей нефти.

#### *Связь нефтеносности баженовской свиты с палеорельефом дна Западно-Сибирского моря*

Еще на самых ранних этапах изучения нефтеносности баженовской свиты исследователи предполагали о связи коллектора с седиментационными особенностями отложений и постседиментационными преобразованиями минеральных компонентов и органического вещества [Гурари Ф.Г., Гурари И.Ф., 1974 Свищев и др., 1973; Корж, 1978 и др.]. В последние годы исследователи на большем количестве фактического материала подтверждают связь между продуктивностью скважин, их палеоструктурным планом и локальными

гидрологическими условиями [Немова, Панченко, 2017; Хотылев и др., 2019; Немова и др., 2020; Фомина и др., 2021; Балущкина и др., 2021].

В работе [Немова и др. 2017] отмечается тренд по продуктивности скважин в зависимости от структурного положения и удаления от склона: малопродуктивные и непродуктивные разрезы расположены во впадинах и подножных частях поднятий, а также пониженных частях участков структурного плана в целом. В этой работе исследователи установили связь между литологической изменчивостью и продуктивностью скважин со структурным планом, унаследованным от палеорельефа дна баженовского моря и утверждают, что наиболее благоприятные условия для высокой продуктивности скважин складываются в верхних частях палеосклонов. В керне таких разрезов наблюдаются радиоляриты, часто отсортированные, в которых наблюдается наименьшее содержание глинистой компоненты и улучшенные коллекторские свойства [Немова, Панченко, 2017].

В работе Фомина [2021] интервалы с повышенными значениями пористости в радиоляритовых образцах третьего слоя (по [Панченко и др., 2016]) нижнетутлеймской подсвиты (возрастной аналог баженовской свиты) выделены только в скважинах, приуроченных к сводовой и склоновой частям, а при переходе в более погруженные части – они перестают быть пористыми. Данный факт авторы также связывают с палеорельефом, существовавшим на момент формирования отложений, а площадное развитие радиоляритов объясняют контролем предполагаемой зоной действия палеотечений (по модели [Хотылев и др., 2019]). В изученных разрезах исследователи связывают образование пустотного пространства в радиоляритах с растворением минеральной матрицы пород [Фомина и др., 2021].

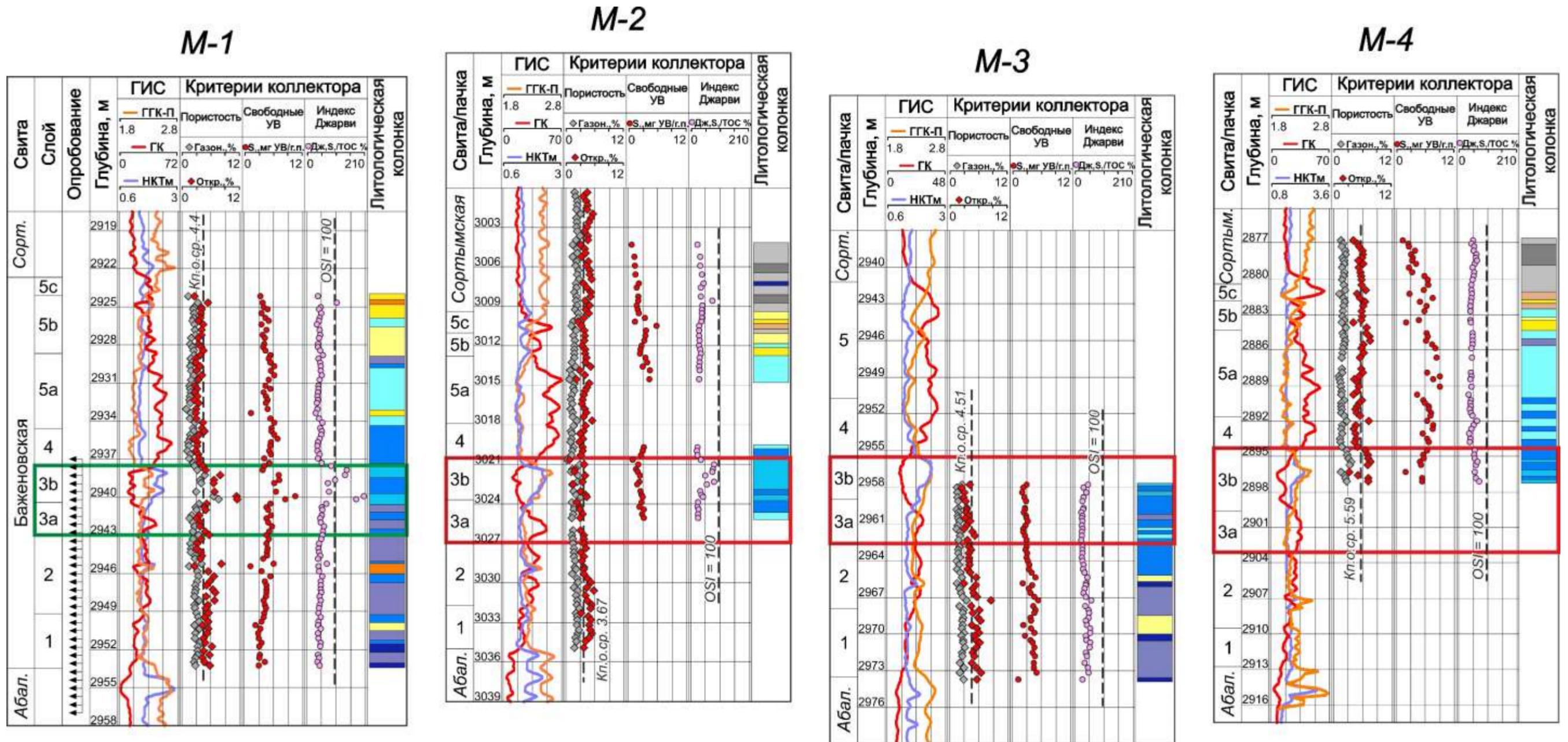


Рисунок 49 – Геолого-геофизические плашнеты разрезов скважин М-1, М-2, М-3 и М-4 с основными критериями выделения интервала-коллектора.

Условные обозначения см. на рисунке 12.

В связи с наличием интервала-коллектора в баженовской свите в разрезе скважины М-1 и его отсутствием в разрезах скважин М-2, М-3 и М-4 был проведен анализ приуроченности скважин к структурному и палеоструктурному планам (см. Рисунок 41- Рисунок 42 – Структурная карта по подошве баженовской свиты).

Условные обозначения: 1 – контуры положительных тектонических элементов третьего порядка [Конторович и др., 2001]; 2 – изученные разрезы; 3 – скважины с испытаниями в интервале баженовской свиты; 4 – скважины, используемые в картопостроении.

). Ранее было показано, что в современном структурном плане скважины М-1, М-2 и М-3 находятся в приподнятой части Малобалыкского поднятия на юго-западе изучаемого района (см. Рисунок 42 – Структурная карта по подошве баженовской свиты).

Условные обозначения: 1 – контуры положительных тектонических элементов третьего порядка [Конторович и др., 2001]; 2 – изученные разрезы; 3 – скважины с испытаниями в интервале баженовской свиты; 4 – скважины, используемые в картопостроении.

). На основе анализа карты толщин баженовской свиты (см. Рисунок 43 – Карта толщин баженовской свиты [Саитов, 2023]).

Условные обозначения см. на рисунке 42.

) сделано предположение, что в палеоструктурном плане скважина М-2 находилась в присводовой части палеоподнятия («сводовый» тип), М-1 – на его склоне («склоновый» тип), а скважина М-3 – в некотором отдалении от положительной структуры вблизи локального увеличения глубин палеодна («глубинный» тип). Скважина М-4 располагается на северо-западе в пологозалегающей части территории как в современном, так и в палеоструктурном планах.

В настоящей работе было показано, что наличием притока и наилучшими коллекторскими свойствами баженовская свита обладает в разрезе скважины М-1, расположенной в склоновой части палеоподнятия. Установлено, что в разрезе скважины М-2, находящейся в присводовой части поднятия, она обладает наихудшими коллекторскими свойствами. Породы разреза в скважине М-3, находящейся в нижней части палеосклона, также имеют низкие емкостные характеристики.

В целях верификации полученных результатов была изучена информация о более ранних испытаниях баженовских отложений в пределах изучаемой территории. Опробование в интервале свиты проводилось в 9 скважинах. Однако при детальном анализе информации и сопоставлении указанных интервалов с каротажными диаграммами было установлено, что в шести случаях из девяти

опробование проводилось для выше- или нижележащих отложений (в одном случае частично включая верхнюю часть баженовской свиты). В трех скважинах испытание на приток осуществлялось в интервале баженовской свиты и включало в себя полностью или частично слой «b» пачки 3.

Анализ расположения этих скважин на структурной карте по подошве баженовской свиты показал, что скважины М-6 и М-14 расположены в сводовой части поднятия, М-15 – на его склоне. Согласно карте толщин баженовской свиты скважины М-6 и М-14 расположены в зоне ее минимальных мощностей (менее 29 м) и накапливались в сводовой части палеоподнятия. Скважина М-15 расположена к западу от них, толщина баженовской свиты в ее разрезе составляет 30 м; осадки накапливались на склоне палеоподнятия. Анализ результатов испытаний на приток в изученных скважинах (таблица 6) и их расположение на структурной карте и карте толщин подтвердило отсутствие промышленных притоков нефти в разрезах баженовской свиты, накопление которых происходило в присводовой части палеоподнятия и их наличие в разрезе «склонового» типа.

Таблица 6 – Результаты испытаний баженовской свиты на приток.

Скважина	Тип разреза	Результат испытания
М-1	«склоновый»	Дебит жидкости – 29 м <sup>3</sup> /сут, из них 27 м <sup>3</sup> /сут - нефть
М-2	«сводовой»	Нет данных. Коллектор не выделен
М-3	«погруженный»	Нет данных. Коллектор не выделен
М-4	-	Нет данных. Коллектор не выделен
М-6	«сводовой»	Дебит нефти – 0.6 м <sup>3</sup> /сут
М-14	«сводовой»	Пленка нефти
М-15	«склоновый»	Дебит нефти – 10.2 м <sup>3</sup> /сут

В ходе настоящего исследования установлено, что коллектор в баженовской свите присутствует только в разрезе скважины М-1, расположенной на склоне палеоподнятия. «Сводовой» и «погруженный» типы разреза, вскрытые в скважинах М-2 и М-3 соответственно, обладают наихудшими коллекторскими свойствами. Выделенный в разрезе скважины М-1 коллектор связан с высококремнистым интервалом с повышенными значениями пористости и наличием подвижной нефти, подтвержденной притоком. Увеличение объема пустотного пространства образцов с наилучшими емкостными свойствами связано со скелетами радиолярий, кремнистое вещество которых подвержено растворению щелочными растворами, а пустотное пространство не было заполнено в процессе диа- и катагенеза минеральными компонентами и органическим веществом. Таким образом, наличие процессов растворения в одной скважине и их отсутствие в других, по-видимому, связано с совокупностью факторов палеоструктурного положения и гидрологическими условиями, существовавшими на момент осадконакопления.

В результате проведенного исследования качественно и количественно подтверждено, что вторичные изменения могут способствовать как улучшению (растворение), так и ухудшению емкостных свойств пород (вторичное минералообразование). Обосновано, что материалы ГИС могут использоваться только для выделения потенциально продуктивных интервалов, изучение которых лабораторными методами позволит установить в них наличие либо отсутствие коллекторов.

В заключение необходимо обратить внимание еще на одно обстоятельство. Изучаемый регион по ряду региональных критериев является самым перспективным в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции с точки зрения нефтеносности баженовской свиты. Однако интервал-коллектор выделяется в разрезе только одной скважины из трех, при этом имея незначительную мощность – 2.7 м. Не выполняя количественную оценку становится очевидно, что запасы нефти в таких коллекторах будут относительно невелики. Для того чтобы

баженовская свита стала основным нефтяным резервом страны, необходимо разрабатывать технологии разведки и добычи углеводородов и из ее высокоуглеродистых интервалов пород, которые сегодня рассматриваются, как правило, только в качестве нефтегенерирующих.

## 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 прослойки 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 микситы 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 микситы 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 «сводовой», «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 СОКРАЩЕНИЙ**

АК	акустический каротаж
БК	боковой каротаж
БКЗ	боковое каротажное зондирование
ВИКИЗ	высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование
ГГК-П	гамма-гамма каротаж плотностной
ГИС	геофизические исследования скважин
ГК	гамма каротаж
ИК	индукционный каротаж
$K_{п.г.}$	коэффициент газонасыщенной пористости (до экстракции)
$K_{п.о.}$	коэффициент открытой пористости (после экстракции)
МБК	микробоковой каротаж
МГЗ	микроградиент зонд
МПЗ	микропотенциал-зонд
НГК	нейтронный гамма-каротаж
НКТб	нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам, большой зонд
НКТм	нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам, малый зонд
ОВ	органическое вещество
ПС	метод потенциалов самопроизвольной поляризации
GRI	Gas Research Institute
W	кривая водородосодержания

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Амон, Э.О. К вопросу о разнообразии микрофоссилий баженовского горизонта Западной Сибири (поздняя юра – ранний мел) / Э.О. Амон, В.С. Вишневецкая, Ю.А. Гатовский, Е.А. Жегалло // Георесурсы. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 118–131.
2. Атлас и объяснительная записка к атласу литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины в масштабе 1:5 000 000. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ. – 1976. – 85 с.
3. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Том III. Триасовый, юрский и меловой периоды / Гл. ред. А.П. Виноградов. – Москва: Всесоюзный аэрогеологический трест Министерства геологии СССР. – 1968. – 80 с.
4. Атлас месторождений нефти и газа Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том II / под ред. В.А.Волкова, А.В. Шпильмана. – Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис. – 2013 г.
5. Балущкина, Н.С. Кремнистые коллекторы баженовского горизонта Средне-Назымского месторождения и структура их пустотного пространства / Н.С. Балущкина, Г.А. Калмыков, В.С. Белохин, Р.А. Хамидуллин, Д.В. Корост // Вестник Московского университета серия 4. Геология. – 2014. – № 2. – С. 35–43.
6. Балущкина, Н.С. Литофизическая типизация и нефтеносность пород баженовского горизонта в зоне сочленения Сургутского и Красноленинского сводов: автореф. дис. канд. Геол.-мин. наук / Балущкина Наталья Сергеевна. – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ). Геологический факультет. Москва, 2011. – 187 с.
7. Балущкина, Н.С. Системный подход и комплексирование исследований при моделировании свойств и прогнозе нефтегазоносности баженовской высокоуглеродистой формации в Западной Сибири / Н.С. Балущкина, В.В. Волянская, С.В. Осипов, О.В. Хотылев, Г.А. Калмыков // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 4. – С. 34–39.

8. Балущкина, Н.С. Структура пустотного пространства нефтенасыщенных пород баженовской и абалакской свит в центральной части Западно-Сибирского бассейна / Н.С. Балущкина, Г.А. Калмыков, Н.И. Коробова, Т.А. Шарданова // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2015. – № 5. – С. 69–77.

9. Балущкина, Н.С. Закономерности строения баженовского горизонта и верхов абалакской свиты в связи с перспективами добычи нефти / Н.С. Балущкина, Г.А. Калмыков, Т.А. Кирюхина, Н.И. Коробова, Д.В. Корост, Е.В. Соболева, А.В. Ступакова, Н.П. Фадеева, Р.А. Хамидуллин, Т.А. Шарданова // Геология нефти и газа. – 2013. – № 3. – С. 48–61.

10. Белкин, В.И. Модель коллекторов нефти баженовской свиты Салымского месторождения / В.И. Белкин, Е.П. Ефремов, Н.Д. Капелинин // Нефтяное хозяйство. – 1983. – № 10. – С. 27–31.

11. Белкин, В.И. Строение и нефтеносность баженовского резервуара // Литология и полезн. ископаемые. – 1985. – № 2. – С. 27–31.

12. Бладучан, Ю.В. Баженовский горизонт Западной Сибири. / Ю.В. Бладучан, Ф.Г. Гурари, В.А. Захаров и др. – Новосибирск: Наука, 1986. – 216 с.

13. Бладучан, Ю.В. Дополнения к стратиграфии битуминозных отложений Западной Сибири. Пути повышения эффективности геолого-разведочных работ на нефть и газ в Тюменской области / Ю.В. Бладучан, А.И. Лебедев. – Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1979. – С. 3–5

14. Булыникова, С.П. Палеобиофации нефтегазоносных волжских и неокомских отложений Западно-Сибирской плиты / С.П. Булыникова, А.В. Гольберт, И.Г. Климова, А.Э. Конторович, И.Д. Полякова, М.А. Решетникова, А.С. Турбина. – М.: Недра, 1978. – 86 с.

15. Булыникова, С.П. Фораминиферы нефтегазоносных отложений неокома Западно-Сибирской равнины / С.П. Булыникова. – М.: Недра, 1973. – 129 с.

16. Важенина, О.А. Особенности осадконакопления и литологические типы пород баженовской свиты на территории Широкого Приобья (Западная Сибирь) / О.А. Важенина // Вестник ТГУ. Сер. Науки о Земле. – 2010. – № 335. – С. 161–164.
17. Васильев, А.Л. Исследования морфологии пустотного пространства керогена баженовской свиты / А.Л. Васильев, Е.Б. Пичкур, А.А. Михуткин, М.Ю. Спасенных, Н.Н. Богданович, Н.С. Балущкина, Г.А. Калмыков // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 10. – С. 28–31.
18. Вассоевич, Н.Б. Основные закономерности, характеризующие органическое вещество современных и ископаемых осадков. Природа органического вещества современных и ископаемых осадков / Н.Б. Вассоевич. – М.: Наука, 1973. – С. 11–59.
19. Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещиноватых и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Недропользование XXI век. – 2017. – № 4. – С. 70–100.
20. Гаврилов, А.Е. Целевая классификация пород баженовской свиты (на примере месторождений центральной части Западной Сибири) / А.Е. Гаврилов, Е.А. Жуковская, М.А. Тугарова, М.А. Остапчук // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 12. – С. 38–40.
21. Геохимия осадочных пород и руд / Под. Ред. Н.М. Страхова. – М.: Наука, 1966. – 423 с.
22. Глотов, А.В. Остаточная водонасыщенность нефтематеринских пород баженовской свиты / А.В. Глотов, А.Г. Скрипкин, П.Б. Молоков, Н.Н. Михайлов // Neftegaz.ru. – 2022. – Т. 3, № 123. – С. 40–46.
23. Гольберт, А.В. Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене / А.В. Гольберт, Л.Г. Маркова, И.Д. Полякова и др. – М.: Наука, 1968. – 150 с.

24. Горшков, А.М. Методика определения пористости и насыщенности сланцевых пород на дезинтегрированном керне / А.М. Горшков, Р.М. Сайтов // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 6–12.
25. Горшков, А.М. Методика определения пористости ультранизкопроницаемых пород баженовской свиты на дезинтегрированном керне / А.М. Горшков // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 12. – С. 129–133.
26. ГОСТ 26450.1-85. Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением. – Введен с 27.02.1985. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 8 с.
27. Гурари, Ф.Г. Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирской низменности – новой нефтяной базы СССР / Ф.Г. Гурари, В.П. Казаринов, Ю.К. Миронов, В.Д. Наливкин, И.И. Нестеров, Т.И. Осыко и др. – Новосибирск: СО АН СССР, 1963. – 200 с.
28. Гурари, Ф.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья / Ф.Г. Гурари. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – 174 с.
29. Гурари, Ф.Г. Доманикиты и их нефтегазоносность / Ф.Г. Гурари // Советская геология. – 1981. – № 11. – С. 3–12.
30. Гурари, Ф.Г. Новые данные об условиях образования баженовской свиты / Ф.Г. Гурари, А.В. Гольберт, В.А. Захаров // Новые данные по стратиграфии и палеогеографии нефтегазоносных бассейнов Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1983. – С. 5–17.
31. Гурари, Ф.Г. О залежах углеводородов в глинистых толщах. Нефтегазоносность Сибири и Дальнего Востока / Ф.Г. Гурари. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 105–116.
32. Гурари, Ф.Г. О поисках нефти и газа в мезозое Западно-Сибирской низменности // Тр. СНИИГГиМС. – Вып. 17 / Ф.Г. Гурари. – Л.: Гостоптехиздат, 1961. – С. 15–31.

33. Гурари, Ф.Г. Об условиях накопления и нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири // Тр. СНИИГГиМС. / Ф.Г. Гурари. – Новосибирск, 1979. – Вып. 271. – С. 153–160.
34. Гурари, Ф.Г. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты / Ф.Г. Гурари, Э.Я. Вайц, В.Н. Меленевский, В.И. Москвин, Г.Н. Перозио, Е.А. Предтеченская, Д.И. Рудницкая, О.Ф. Стасова, В.Х. Фролов, Л.А. Фролова. – М.: Недра, 1988. – 200 с.
35. Гурари, Ф.Г., Гурари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири / Ф.Г. Гурари, И.Ф. Гурари // Геология нефти и газа. – 1974. – № 5. – С. 36–40.
36. Гурова, Т.И. Литология и палеогеография Западно-Сибирской низменности в связи с нефтегазоносностью / Т.И. Гурова, В.П. Казаринов. – М: Гостоптехиздат, 1962. – 296 с.
37. Гурова, Т.И. О вещественном составе верхнеюрских отложений Западно-Сибирской низменности // Докл. АН СССР.1960. – Т.134, № 4. – С. 924–927.
38. Дорофеева, Т.В. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири / Т.В. Дорофеева, С.Г. Краснов, А.А. Лебедев и др. – Л.: Недра, 1983. – 131 с.
39. Ёлкин, Е.А. Палеозойские фациальные мегазоны в структуре фундамента Западно-Сибирской геосинеклизы / Е.А. Ёлкин, А.Э. Конторович, Н.К. Бахарев, С.Ю. Беляев, А.И. Варламов, Н.Г. Изох, А.В. Каныгин, В.А. Каштанов, Н.П. Кирда, А.Г. Клец, В.А. Конторович, В.И. Краснов, В.А. Кринин, С.А. Моисеев, О.Т. Обут, С.В. Сараев, Н.В. Сенников, В.М. Тищенко, Ю.Ф. Филиппов, А.В. Хоменко, В.Г. Хромых // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 6. – С. 633–650.

40. Замирайлова, А.Г. Уголь-сапропелит в баженовской свите Западно-Сибирской плиты / А.Г. Замирайлова, Ю.Н. Занин, А.Н. Фомин // Геология и геофизика. – 2000. – Т.41, № 9. – С. 1341–1344.

41. Занин, Ю.Н. Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна / Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова, В.Г. Эдер // Литосфера. – 2005. – № 4. – С. 118–135.

42. Занин, Ю.Н. Никель, молибден, кобальт в черных сланцах баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна / Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова, В.Г. Эдер // Геохимия. – 2017. – № 2. – С. 161–170.

43. Занин, Ю.Н. О двух вещественно-генетических типах черных сланцев баженовской свиты // Докл. Академии Наук, 1999. – Т. 368, № 1, С. 91–94.

44. Занин, Ю.Н. О двух главных типах углеродсодержащих пород баженовской свиты – основного продуцента углеводородного сырья Западной Сибири // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Труды междунар. симпозиума (Петрозаводск, 2–7 июня 1998 г.). – Петрозаводск, 2000. – С. 29–33.

45. Занин, Ю.Н. О роли скелетного и бесскелетного биогенного материала в формировании органического вещества баженовской свиты / Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова, В.Р. Лившиц, В.Г. Эдер // Геология и геофизика. – 2008. – Том 49, № 4. – С. 357–366.

46. Занин, Ю.Н. Редкоземельные элементы в баженовской свите Западно-Сибирского осадочного бассейна / Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова и др. // Литосфера. – 2011. – № 6. – С. 38–54.

47. Занин, Ю.Н. Уран, торий и калий в черных сланцах баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна / Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова, В.Г. Эдер // Литология и полезные ископаемые. – 2016. – № 1. – С. 82–94.

48. Запивалов, Н.П. Прогнозирование нефтегазоносности юрских отложений юго-восточной части Западно-Сибирской низменности по данным

газового каротажа / Н.П. Запивалов, В.А. Родионов // Геология нефти и газа. – 1971. – № 8. – С. 62–64.

49. Зарипов, О.Г. Закономерности размещения коллекторов в глинистых отложениях баженовской свиты и ее возрастных аналогов в Западной Сибири / О.Г. Зарипов, И.И. Нестеров // Советская геология. – 1977. – № 3. – С. 19–25.

50. Зарипов, О.Г. О механизме образования коллектора в отложениях баженовской свиты // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири: научные труды. – М.: ИГиРГИ, 1980. – С. 48–57.

51. Захаров, В.А. Баженовское (волжско-берриасское) море Западной Сибири. Палеогеография юры и мела Сибири / В.А. Захаров, В.Н. Сакс. – М.: Наука, 1983. – С. 5–31.

52. Захаров, В.А. Биостратиграфия неокома Северного Приобья Западной Сибири / В.А. Захаров, В.А. Казаненков, Ю.И. Богомоллов, Н.К. Лебедева, В.А. Маринов, Ю.Н. Карогодин, Е.Б. Пещевицкая // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 8. – С. 1135–1148.

53. Захаров, В.А. Первая находка следов жизнедеятельности в высокоуглеродистых черных сланцах баженовской свиты Западной Сибири / В.А. Захаров, Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 3. – С. 402–405.

54. Захаров, В.А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосферы и биоразнообразия. К 70-летию А.Ю. Розанова. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – С. 552–568.

55. Зонн, М.С. Палеогеографические условия накопления баженовской свиты и ее аналогов в северных районах Западной Сибири / М.С. Зонн // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири: Науч. тр. – Москва: ИГИРГИ, 1980. – С. 6–17.

56. Зубков, Л.Б. Космический металл. Все о титане / Л.Б. Зубков. – М.: Наука, 1987 – С. 128.

57. Зубков, М.Ю. Вещественный состав и условия образования пород баженовской свиты Салымского месторождения / М.Ю.Зубков, В.В. Мормышев // Литология и полезные ископаемые. – 1987. – № 2. – С. 73–80.

58. Зубков, М.Ю. Литолого-петрофизическая характеристика отложений баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) / М.Ю. Зубков // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 12. – С. 1821–1836.

59. Зубков, М.Ю. Прогноз трещинных коллекторов в отложениях баженовской и абалакской свит на основе результатов тектонофизического моделирования. В кн.: Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Том 1 (Пятая научно-практическая конференция). – Ханты-Мансийск, 2002 – С. 244–253.

60. Зубков, М.Ю. Региональный и локальный прогнозы нефтеносности баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) / М.Ю. Зубков// Горные ведомости. – 2016. – № 3 – 4. – С. 46–68.

61. Зубков, М.Ю. Состав, строение и условия образования баженовской и абалакской свит Красноленинского свода (Западная Сибирь) / М.Ю. Зубков // Литология и полезные ископаемые. – 2001. – № 1. – С. 37–48.

62. Казаринов, В.П. Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири / В.П. Казаринов. – Москва: Гостоптехиздат, 1958. – 324 с.

63. Калмыков, А.Г. Влияние катагенетической зрелости на формирование коллекторов с органической пористостью в баженовской свите и особенности их распространения / А.Г. Калмыков, Ю.А. Карпов, М.С. Топчий, М.М. Фомина, Е.А. Мануилова, Е.В. Шереметьева, И.О. Третьякова, Н.В. Пронина, В.А. Шишков, Н.С. Балущкина, Н.П. Фадеева, А.В. Ступакова, Г.А. Калмыков // Георесурсы. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 159–171.

64. Калмыков, Г.А. Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала / Г.А. Калмыков, Н.С. Балущкина. – М.: ГЕОС, 2017. – 247 с.

65. Калмыков, Г.А. Структура баженовского нефтегазоносного комплекса как основа прогноза дифференцированной нефтепродуктивности. Автореф. дисс. докт. геол.-мин. наук. – Москва, 2016. 50 с.

66. Конторович, А.Э. Геология горючих сланцев и родственных им пород Сибири // Первое республиканское совещание «Горючие сланцы (геохимия и литология)». Тезисы. Ротапринт. Изд-во управления геологии совета министров Эстонской ССР. – Таллин, 1975. – С. 21–24.

67. Конторович, А.Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности / А.Э. Конторович // Тр. СНИИГГиМС. – М.: Недра, 1976. – Вып. 229. – 250 с.

68. Конторович, А.Э. Геохимия верхнеюрских отложений Западно-Сибирской плиты / А.Э. Конторович // Литология и полезные ископаемые. – 1967. – № 3. – С. 90–102.

69. Конторович, А.Э. Геохимия и катагенетические превращения керогена баженовского горизонта / А.Э. Конторович, Л.И. Богородская, Л.С. Борисова, Л.М. Бурштейн, З.Р. Исмагилов, О.С. Ефимова, Е.А. Костырева, Н.М. Лемина, С.В. Рыжкова, С.А. Созинов, А.Н. Фомин, В.Р. Лившиц // Геохимия. – 2019. – Т. 64, № 6. – С. 585–593.

70. Конторович, А.Э. Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века / А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, В.Р. Лившиц, С.В. Рыжкова // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89, № 11. – С. 1095–1104.

71. Конторович, А.Э. Диагенез рассеянного органического вещества в юрских и меловых осадках // Органическая геохимия мезозойских нефтеносных отложений Сибири. – М.: Недра, 1974. – С. 29–39.

72. Конторович, А.Э. Закономерности накопления органического вещества в древних осадочных толщах (на примере мезозойских отложений Сибири) / А.Э. Конторович, И.Д. Полякова, А.С. Фомичев // Литология и полезные ископаемые. – 1971. – № 6. – С. 16–27.

73. Конторович, А.Э. Катагенез органического вещества в кровле и подошве юрского комплекса Западно-Сибирского мегабассейна / А.Э. Конторович, А.Н. Фомин, В.О. Красавчиков, А.В. Истомин // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 11. – С. 1191–1200.
74. Конторович, А.Э. Классификация пород баженовской свиты / А.Э. Конторович, П.А. Ян, А.Г. Замирайлова, Е.А. Костырева, В.Г. Эдер // Геология и геофизика. – 2016. – № 11. – С. 2034–2043.
75. Конторович, А.Э. Маргинальный фильтр волжско-раннеберриасского Западно-Сибирского морского бассейна и его влияние на распределение осадков / А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, Б.Л. Никитенко, С.В. Рыжкова, Е.В. Борисов, С.В. Ершов, Е.А. Костырева, В.А. Конторович, А.Ю. Нехаев, Е.В. Пономарева, М.А. Фомин, П.А. Ян // Литология и полезные ископаемые. – 2019. – № 3. – С. 199–210.
76. Конторович, А.Э. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 972–1012.
77. Конторович, А.Э. Пористость и нефтенасыщенность пород баженовской свиты / А.Э. Конторович, С.В. Родякин, Л.М. Бурштейн, Е.А. Костырева, С.В. Рыжкова, П.А. Ян // Геология нефти и газа. – 2018. – № 5. – С. 61–73.
78. Конторович, А.Э. Распределение органического вещества в породах баженовского горизонта (Западная Сибирь) / А.Э. Конторович, Е.В. Пономарева, Л.М. Бурштейн, В.Н. Глинских, Н.С. Ким, Е.А. Костырева, М.А. Павлова, А.П. Родченко, П.А. Ян // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 3. – С. 357–371.
79. Конторович, В. А. Тектоническое строение и история тектонического развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое / В.А. Конторович, С.Ю. Беляев, А.Э. Конторович, В.О. Красавчиков, А.А. Конторович, О. И. Супруненко // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 11 – 12. – С. 1832 – 1845.

80. Конторович, В.А. Критерии классификации платформенных структур / В.А. Конторович, С.Ю. Беляев, А.Э. Конторович // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2004. – № 1. – С. 47–58.

81. Конторович, В.А. Принципы классификации тектонических элементов молодых платформенных областей (на примере Западной Сибири) / В.А. Конторович, С.Ю. Беляев // Всерос. науч. конф. «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна», 14–17 ноября 2000 г.: Тез. докл. Ч. 1. – Тюмень, 2000. – С. 10–12.

82. Конторович, В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири / В.А. Конторович. – Новосибирск: СОРАН, филиал «ГЕО», 2002. – 253 с.

83. Корж, М.В. Особенности литогенеза аргиллитов баженовской свиты и возможный механизм образования в них залежей нефти / М.В. Корж, С.И. Филина // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. – М.: ИГиРГИ, 1980. – С. 6–17.

84. Корж, М.В. Палеогеографические критерии нефтегазоносности юры Западной Сибири / М.В. Корж // Москва: Наука, 1978. – 135 с.

85. Коробова, Н.И. Основные типы разрезов нефтеносной баженовской свиты на северо-востоке Сургутского свода / Н.И. Коробова, О.М. Макарова, Г.А. Калмыков, Н.Н. Петракова, А.Ю. Юрченко, В.Ф. Шарафутдинов, С.Р. Корост, В.В. Калабин // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2015. – № 5. – С. 54–61.

86. Коровина, Т.А. Закономерности формирования и распространения коллекторов в битуминозных отложениях баженовской свиты для оценки перспектив нефтегазоносности западного склона Сургутского свода: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: 25.00.12 / Т.А. Коровина. – Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 2004. – 112 с.

87. Коровина, Т.А. Особенности вещественного состава пород баженовской свиты Ай-Пимского месторождения. / Т.А. Коровина,

Е.П. Кропотова, И.В. Федорцов // Геология и геолого-разведочные работы. – 2001. – № 6. – С. 18–21.

88. Краснов, С.Г. О влиянии интрузий в фундаменте Западно-Сибирской плиты на нефтегазоносность баженовской свиты / С.Г. Краснов, М.Д. Хуторской // ДАН СССР. Серия геологическая. – 1978. – Т. 243, № 4. – С. 995–997.

89. Крылов, И.А. Особенности размещения залежей нефти баженовской свиты в районах Среднего Приобья. В кн.: Закономерности формирования и размещения нефтяных и газовых месторождений / И.А. Крылов, Б.В. Корнев, М.И. Козлова. – М.: ИГИРГИ, 1977. – С. 44–54.

90. Литвин, В.Т. Особенности строения и интенсификации притоков нефти в сложных коллекторах баженовской свиты Пальяновского месторождения / В.Т. Литвин, К.В. Стрижнев, П.В. Рощин // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10, № 3. – С. 1–20.

91. Макарова, О.М. Основные типы пород баженовской свиты на Сургутском своде и сопредельных территориях / О.М. Макарова, Н.И. Коробова, А.Г. Калмыков, Г.А. Калмыков, Н.С. Балущкина, В.С. Белохин, Е.В. Козлова, В.Л. Косоруков, Е.А. Мануилова // Георесурсы. – 2017. – № 2. – С. 155–164.

92. Макарова, О.М. Состав и коллекторские свойства отложений баженовской свиты в центральной части Тундринской котловины / О.М. Макарова, Н.И. Коробова, А.Г. Калмыков, Г.А. Калмыков // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2018. – № 1. – С. 107–111.

93. Маринов, В.А. Биостратиграфия верхней юры и нижнего мела центральной части Западной Сибири / В.А. Маринов, С.В. Меледина, О.С. Дзюба, О.С. Урман // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – С. 119–142.

94. Маринов, В.А. Биофациальный анализ верхнеюрских и нижнемеловых отложений центральных районов Западной Сибири / В.А. Маринов, С.В. Меледина, О.С. Дзюба, О.С. Урман, О.В. Язикова, В.А. Лучинина, А.Г. Замирайлова, А.Н. Фомин // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2006. – Т. 14, № 4. – С. 81–96.

95. Мухер, А.Г. Районирование баженовского горизонта по типам разреза в пределах Красноленинско-Фроловской зоны (Западная Сибирь) / А.Г. Мухер // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Материалы VII Всероссийского литологического совещания. Новосибирск, 28–31 октября 2013 г. Том 1. – 2013. – Т. 1. – С. 297–301.
96. Недоливко, Н.М. Литолого-петрографические особенности коллекторов баженовской свиты на юго-востоке Западно-Сибирской провинции (Томская область) / Н.М. Недоливко, Т.Г. Перевертайло // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 1. – С. 77–87.
97. Немова, В.Д. Локализация приточных интервалов баженовской свиты и их емкостное пространство на Средне-Назымском месторождении [Электронный ресурс] / В.Д. Немова, И.В. Панченко // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2017. – Т. 12, № 1. – С. 1–24. – Режим доступа: [https://www.ngtp.ru/rub/4/11\\_2017](https://www.ngtp.ru/rub/4/11_2017).
98. Немова, В.Д. Многоуровневая литологическая типизация пород баженовской свиты / В.Д. Немова // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 8. – С. 13–17.
99. Немова, В.Д. Стадийность и направленность вторичных преобразований пород-коллекторов нижнетутлеймской подсвиты на западе Широкого Приобья / В.Д. Немова, В.Н. Колосков, С.С. Гаврилов, Б.Г. Покровский // Геология нефти и газа. – 2010. – № 6. – С. 22–28.
100. Немова, В.Д. Условия формирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Красноленинского свода и Фроловской мегавпадины [Электронный ресурс] / В.Д. Немова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 1–14. – Режим доступа: [https://www.ngtp.ru/rub/4/23\\_2012.pdf](https://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf).
101. Нестеров, И.И. Нефтегазоносность глинистых битуминозных пород // Строение и нефтегазоносность баженигов Западной Сибири. – Тюмень, 1985. – С. 3–19.

102. Нестеров, И.И. Особенности геотемпературного поля Западной Сибири / И.И. Нестеров, А.Р. Курчиков, Б.П. Ставицкий // Нефтегеологические интерпретации теплового режима недр Западной Сибири. Труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень, 1988. – С. 5–23.

103. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 2. Западно-Сибирский бассейн / А.Э. Конторович, В.С. Сурков, А.А. Трофимук и др. – Новосибирск: ОИГГМ, СНИИГГиМС, 1994. – 200 с.

104. Нефтяные и газовые месторождения России, справочник: в 2 кн. / К.А. Клещев, В.С. Шеин. – Москва: ВНИГНИ, 2010.

105. Новиков, Г.Р. Перспективы открытия крупных залежей нефти в трещиноватых аргиллитах баженовской свиты / Г.Р. Новиков, Ф.К. Салманов, А.В. Тянь // Научно-технический сборник «Нефть и газ Тюмени». – 1970. – № 7. – С. 1–3.

106. Оксенойд, Е.Е. Минерально-вещественный состав и фильтрационно-емкостные свойства баженовских пород в центральной части Западной Сибири / Е.Е. Оксенойд, И.В. Козлов, Р.И. Баширов // Недропользование XXI век. – 2018. – № 1. – С. 30–37.

107. Оксенойд, Е.Е. Характеристика минерально-вещественного состава пород баженовского горизонта в центральной части Западно-Сибирского НГБ / Е.Е.Оксенойд // Известия вузов. Нефть и газ. – 2018. – № 3. – С. 20–28.

108. Павлова, М.А. Интерпретация данных электрометрии на интервале баженовской свиты / М.А. Павлова, К.В. Сухорукова, В.Н. Глинских // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.): Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: Сб. материалов в 3 т. – 2013. – Т. 2. – С. 132–136.

109. Панченко, И.В. Вулканические туфы и туффиты в пограничных отложениях юры и мела (волжский-рязанский ярусы) Западной Сибири /

И.В. Панченко, И.Д. Соболев, М.А. Рогов, А.В. Латышев // Литология и полезные ископаемые. – 2021. – № 2. – С. 144–183.

110. Панченко, И.В. Комплексы палеобиоты в абалакско-баженевских отложениях центральной части Западной Сибири. / И.В. Панченко, Н.С. Балущкина, Е.Ю. Барабошкин, В.С. Вишневская, Г.А. Калмыков, О.В. Шурекова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10, № 2. – С. 1–29.

111. Панченко, И.В. Стратификация и детальная корреляция баженевского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС / И.В. Панченко, В.Д. Немова, М.Е. Смирнова, М.В. Ильина, Е.Ю. Барабошкин, В.С. Ильин // Геология нефти и газа. – 2016. – № 6. – С. 22–34.

112. Плуман, И.И. Ураноносность черных аргиллитов волжского яруса Западно-Сибирской плиты, как критерий геохимических условий осадконакопления / И.И. Плуман // Геохимия. – 1971. – № 9. – С. 1138–1143.

113. Предтеченская, Е.А. Баженовская свита как «промежуточный» коллектор углеводородов в зонах дизъюнктивных нарушений / Е.А. Предтеченская, О.Н. Злобина // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 11. – С. 20–33.

114. Предтеченская, Е.А. Геохимические особенности и факторные модели баженовской свиты в центральных и юго-восточных районах Западно-Сибирской плиты / Е.А. Предтеченская, Л.Д. Малюшко // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2016. – № 4. – С. 23–36.

115. Предтеченская, Е.А. О генезисе карбонатов в составе баженовской свиты центральных и юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты / Е.А. Предтеченская, Л.А. Кроль, Ф.Г. Гурари // Литосфера. – 2006. – № 4. – С. 131–148.

116. Пунанова, С.А. Новые данные о геолого-геохимических особенностях нефтегазоносности домеловых отложений севера Западной Сибири /

С.А. Пунанова, В.Л. Шустер // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 1. – С. 4–11.

117. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (г. Новосибирск, 2003 г.). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 114 с.

118. Рихванов, Л.П. Минералого-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследований / Л.П. Рихванов, Д.Г. Усольцев, С.С. Ильенюк, А.В. Ежова // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326, № 1. – С. 50–63.

119. Ровнина, Л.В. К вопросу о вещественном составе баженовской свиты Западной Сибири. / Л.В. Ровнина, Р.А. Коньшева, Т.К. Садовникова // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. – М.: ИГиРГИ, 1980. – С. 148–175.

120. Ровнина, Л.В. Особенности нерастворимого органического вещества баженовской свиты / Л.В. Ровнина // Проблемы нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири. – М.: ИГиРГИ, 1986. – С. 124–131.

121. Розен, О.М. Определение минерального состава осадочных пород по их химическим анализам / О.М. Розен, Ю.А. Нистратов // Советская геология. – 1984. – № 3. – С. 76–83.

122. Розен, О.М. Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ / О.М. Розен, А.А. Аббясов, А.А. Мигдисов, А.А. Ярошевский // Геохимия. – 2000. – № 4. – С. 431–444.

123. Рослякова, А.С. Строение порового пространства коллекторских интервалов баженовской свиты Приобского месторождения Западной Сибири / А.С. Рослякова, А.Г. Калмыков, Г.А. Калмыков, Р.А. Хамидуллин, Н.И. Коробова,

О.М. Макарова, Е.В. Козлова // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2019. – № 2. – С. 39–45.

124. Рыжкова, С.В. Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины / С.В. Рыжкова, Л.М. Бурштейн, С.В. Ершов, В.А. Казаненков, А.Э. Конторович, В.А. Конторович, А.Ю. Нехаев, Б.Л. Никитенко, М.А. Фомин, Б.Н. Шурыгин, А.Л. Бейзель, Е.В. Борисов, О.В. Золотова, Л.М. Калинина, Е.В. Пономарева // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 7. – С. 1053–1074

125. Сайтов, Р.М. Методические аспекты определения пористости и насыщенности порового пространства керн баженовской свиты / Р.М. Сайтов, 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.

126. Сайтов, Р.М. Обоснование интервала-коллектора в разрезах баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы (Западная Сибирь) / Р.М. Сайтов, 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.

127. Сайтов, Р.М. Определение пористости образцов баженовской свиты методом GRI на примере одной из скважин Малобалыкского месторождения / Р.М. Сайтов // Геология: Материалы 60-й Международной научной студенческой конференции (МНСК – 2022) (г. Новосибирск, 10 – 20 апреля 2022 года). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2022. – С. 91–91.

128. Саитов, Р.М. Палеогеография баженовской свиты в пределах Малобалыкской группы месторождений / Р.М. Саитов // Трофимуковские 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.
129. Сакс, В.Н. О развитии рельефа Сибири на протяжении мезозойской эры / В.Н. Сакс, З.З. Ронкина // Геология и геофизика. – 1960. – № 1. – С. 58–73.
130. Салымский нефтегазоносный район / Под ред. И.И. Нестерова. Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 41. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1970. – 314 с.
131. Сараев, С.В. Петрохимический метод в изучении минерального состава пород баженовской свиты Западной Сибири / С.В. Сараев // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 33–38.
132. Саулина, Ж.С. Выделение перспективных интервалов в «нормальных» разрезах баженовской свиты / Ж.С. Саулина, Н.А. Михайлова, А.А. Качкин // Горные ведомости. – 2017. – № 2. – С. 70–78.
133. Сахно, В.Г. О находках элементов платиновой группы, драгоценных и редких металлов в породах баженовской свиты (Западная Сибирь) и сравнение их с известными рудными объектами северо-востока РФ / В.Г. Сахно, А.В. Жабин, Ю.А. Кузнецов, А.А. Дубков // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2020. – № 101. – С. 79–89.
134. Свищев, М.Ф. Гидродинамические особенности продуктивных пластов баженовской свиты Салымского нефтяного месторождения / М.Ф. Свищев, М.М. Садыков, Н.Д. Каптелинин, К.С. Юсупов // Тр. Гипротюменнефтегаз. – Тюмень. – 1973. – Вып. 35. – С. 239–252.
135. Скворцов, М.Б. Критерии нефтеносности отложений баженовской свиты / М.Б. Скворцов, В.Д. Немова, И.В. Панченко, А.М. Кирсанов // Геология нефти и газа. – 2018. – № 1. – С. 109–114.

136. Скворцов, М.Б. Новые данные о размещении нефтегазопродуктивных зон баженовских отложений Западной Сибири / М.Б. Скворцов, Г.В. Кузнецов, Н.Д. Сурова, Е.А. Копилевич // Геология нефти и газа. – 2018. – № 2. – С. 89–96.
137. Скоробогатов, В.А. Некоторые критерии перспектив нефтегазоносности баженовской свиты Западной Сибири / В.А. Скоробогатов, С.Г. Краснов // Геология нефти и газа. – 1984. – № 3. – С. 15–19.
138. Скоробогатов, В.А. Условия формирования углеводородных скоплений верхнеюрских отложений центральных и северных районов Западной Сибири / В.А. Скоробогатов // Геология нефти и газа. – 1980. – № 11. – С. 25–33.
139. Степанов, А.И. О природе аномально высоких пластовых давлений на Салымском месторождении / А.И. Степанов, Ю.А. Терещенко. – Докл. АН СССР, 1973. – Т. 212, № 2. – С. 456–459.
140. Сургутский нефтеносный район / Под ред. И.И. Нестерова. Тр. ЗапСибНИГНИ. Вып. 19. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1968. – 240 с.
141. Сурков, В.С. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты / В.С. Сурков, О.Г. Жеро. – Москва: Недра, 1981. – 143 с.
142. Таруц, Г.М. Строение нефтегазоносных отложений баженовской свиты Западно-Сибирской плиты в связи с особенностями тектоники верхнеюрского бассейна осадконакопления (на примере Салымского района) / Г.М. Таруц, Е.А. Гайдебурова. // Цикличность осадконакопления нефтегазоносных бассейнов и закономерности размещения залежей. – Новосибирск: ИГиГ СОАН СССР, 1978. – С. 80–98.
143. Трофимук, А.А. Баженовская свита – уникальный природный резервуар нефти / А.А. Трофимук, Ю.Н. Карогодин // Геология нефти и газа. – 1981. – № 4. – С. 29–33.
144. Уилсон, Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории / Уилсон Дж. Л. – М.: Недра, 1980. – 463 с.

145. Ушатинский, И.Н. Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири / И.Н.Ушатинский // Советская геология. – 1981. – № 2. – С. 11–22.
146. Филина, С.И. Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири / С.И. Филина, М.В. Корж, М.С. Зонн. – М.: Наука, 1984. –35 с.
147. Фомин, А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна / А.Н. Фомин; Научн. ред. академик А.Э. Конторович; Рос. Акад. Наук, Сиб. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – 331 с.
148. Фомин, М.А. Литологический состав и перспективы нефтеносности баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы / М.А. Фомин, Р.М. Сайтов, А.Г. Замирайлова // Георесурсы. – 2023. – № 4. – С. 1–30.
149. Фомин, М.А. Основные черты геологического строения приграничных толщ юры и мела в приуральской части Западно-Сибирского осадочного бассейна / М.А. Фомин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 7. – С. 4–18.
150. Фомин, М.А. Пиролитические характеристики органического и химический состав пород баженовской на Малобалыкской площади / М.А. Фомин, Р.М. Сайтов, 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.
151. 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. Сайтов, И.С. Сотнич, В.Г. Эдер // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 1. – С. 154–167.

152. Фомин, М.А. Типы разрезов и перспективы нефтеносности баженовской свиты в Надым-Обском междуречье / М.А. Фомин, Р.М. Сайтов // Георесурсы. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 2–11.

153. Фомина, М.М. Выделение потенциально-продуктивных интервалов тутлеймской свиты центральной части Красноленинского свода / М.М. Фомина, Н.С. Балущкина, О.В. Хотылев, А.Г. Калмыков, И.Я. Богатырева, Г.А. Калмыков, И.О. Реуцкая, С.А. Романенко, М.С. Топчий, А.А. Алехин // Георесурсы. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 132–141.

154. Хотылев, О.В. Модели седиментации баженовской свиты высокоуглеродистой формации в зоне развития тутлеймской и баженовской свит / О.В. Хотылев, Ю.А. Гатовский, Н.С. Балущкина, Ю.А. Коточкова, Н.И. Коробова, М.М. Фомина, Е.В. Карпова, Г.А. Калмыков // Георесурсы. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 120–131.

155. Хотылев, О.В. Модель накопления радиоляритовых слоев в баженовской свите Западной Сибири / О.В. Хотылев, Н.А. Балущкина, В.С. Вишневская, Н.И. Коробова, Г.А. Калмыков, А.С. Рослякова // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2019. – № 1. – С. 92–97.

156. Черников, К.А. К вопросу о выделении нефтематеринских пород в разрезе мезозоя Западно-Сибирской низменности / К.А. Черников, Н.П. Запивалов // Вестн. Западно-Сибирского и Новосибирского геологических управлений. – Томск: ТГУ, 1958. – № 2. – С. 12–25.

157. Шурыгин, Б.Н. Граница юры и мела на севере Сибири и бореально-тетическая корреляция приграничных толщ / Б.Н. Шурыгин, О.С. Дзюба // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 4. – С. 830–844.

158. Шурыгин, Б.Н. Стратиграфия нефтегазоносных районов Сибири. Юрская система. / Б.Н. Шурыгин, Б.Л. Никитенко, В.П. Девятов, В.И. Ильина, С.В. Меледина, Е.А. Гайдебурова, О.С. Дзюба, А.М. Казаков, Н.К. Могучева. – Новосибирск: СО РАН, Филиал «ГЕО», 2000. – 480 с.

159. Эдер, В.Г. Закономерности распространения кремнистых пород и «кокколитовой» пачки баженовской свиты / В.Г. Эдер, А.Г. Замирайлова, П.А. Ян // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3 – 4. – С. 511–521.

160. Эдер, В.Г. Литология баженовской свиты в районах Хантейской гемиянтеклизы и Межовского мегамыса Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна / В.Г. Эдер, А.Г. Замирайлова, И.А. Жигульский // Геология нефти и газа. – 2016. – № 6. – С. 87–96.

161. Эдер, В.Г. Литолого-геохимические и геофизические особенности приграничных толщ баженовского и куломзинского горизонтов (основание нижнего мела) центральных районов Западной Сибири / В.Г. Эдер, С.В. Рыжкова, Е.А. Костырева, М.А. Павлова, И.С. Сотнич, А.Г. Замирайлова, Е.В. Пономарева // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 4. – С. 357–366.

162. Эдер, В.Г. Литостратиграфия и обстановки седиментации баженовской свиты (Западная Сибирь) в центральном, юго-восточном и северном районах ее распространения / В.Г. Эдер, С.В. Рыжкова, О.С. Дзюба, А.Г. Замирайлова // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2022. – Т. 30, № 5. – С. 46–74.

163. Эдер, В.Г. Особенности литологического состава основных типов разрезов баженовской свиты / В.Г. Эдер, А.Г. Замирайлова, Ю.Н. Занин, И.А.Жигульский // Геология нефти и газа. – 2015. – № 6. – С. 96–106.

164. Эдер, В.Г. Особенности формирования баженовской свиты на границе юры и мела в центральной части Западной Сибири / В.Г. Эдер, А.Г. Замирайлова, Ю.Н. Занин, и др. // Материалы VII Всероссийского литологического совещания. Новосибирск, 2013. – С. 309–312.

165. Эдер, В.Г. Применение кластерного анализа для выделения типов пород баженовской свиты по содержанию основных породообразующих оксидов / В.Г. Эдер // Геохимия. – 2002. – С. 233–238.

166. Ясович, Г.С. К стратиграфии битуминозных отложений верхней юры и неокома Западно-Сибирской равнины / Г.С. Ясович, М.Д. Поплавская //

Минералогические и геохимические показатели нефтегазоносных мезозойских отложений Западно-Сибирской плиты. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1975. – С. 28-57.

167. Afanasieva, M.S. Biotic Crises and Stages of Radiolarian Evolution in the Phanerozoic / M.S. Afanasieva, E.O. Amon // *Paleontol. J.* – 2006. – Suppl. 4, V. 40. – P. 453–467.

168. Berner, R. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory / R. Berner, R. Raiswell // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47. – 1983. – P. 855–862.

169. Follmi, K.B. Early Cretaceous life, climate and anoxia / K.B. Follmi // *Cretaceous Research.* – 2012. – № 35. – P. 230–257.

170. Gradstein, F.M., *Geologic Time Scale 2020* / F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg // Elsevier, 2020. – P. 563–1280.

171. Haq, B.U. Cretaceous eustasy revisited / B.U. Haq // *Glob. Planet. Change.* – 2014. – V. 113. – P. 44–58.

172. Haq, B.U. Jurassic sea-level variations: a reappraisal / B.U. Haq // *GSA Today.* – 2018. – V. 28, № 1. – P. 4–10.

173. Luffel, D.L. Development of laboratory and petrophysical techniques for evaluating shale reservoirs: Final report. GRI95/0496 / D.L. Luffel, F.K. Guidry, J.B. Curtis // Gas Research Institute, Des Plaines. – Illinois. – 1995. – 304 p.

174. Tremolada, F. Paleooceanographic changes across the Jurassic/Cretaceous boundary: The calcareous phytoplankton response / F. Tremolada, A. Bornemann, T. Bralower, C. Koeberl, Bas van de Schootbrugge // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2006. – V. 241. – P. 361–371.

175. Weissert, H. Late Jurassic climate and its impact on carbon cycling / H. Weissert, H. Mohr // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* – 1996. – V. 122. – P. 27–43.

176. Zanin, Yu.N. Some Calcareous Nannofossils from the Upper Jurassic – Lower Cretaceous Bazhenov Formation of the West Siberian Marine Basin, Russia /

Yu.N. Zanin, A.G. Zamirailova, V.G. Eder // The Open Geology Journal. – 2012. – № 6. – P. 25–31.

### **Фондовая литература**

1. Тектоническое строение мезозойско-кайнозойских отложений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции: отчет о НИР / отв. исп. Беляев С.Ю., Конторович В.А., Красавчиков В.О. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2001. – Книга 3. – 149 с.

2. Геологическая модель, литолого-геохимические и геолого-геофизические критерии прогноза нефтеносности, обоснование типа коллектора, бассейновое моделирование генерации, количественная оценка начальных геологических ресурсов нефти в баженовской свите Западно-Сибирской НГП: отчет о НИР / отв. исп. Конторович А.Э., Рыжкова С.В. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2016. – Книги 1 – 3. – 886 с.

## СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1 – Фрагмент схемы фациального районирования келловоя и верхней юры Западной Сибири [Решение..., 2004]. .....	16
Рисунок 2 – Фрагмент корреляционной региональной стратиграфической схемы келловоя и верхней юры Западной Сибири [Решение..., 2004] с изменениями по [Панченко и др., 2016]. .....	17
Рисунок 3 – Четырехкомпонентная номограмма для определения номенклатуры пород баженовской свиты [Калмыков, Балущкина, 2017]. .....	24
Рисунок 4 – Стратификация салымского типа разреза баженовской свиты по [Брадучан и др., 1986]. .....	26
Рисунок 5 – Фрагмент тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты [Сурков, Жеро, 1981]. .....	36
Рисунок 6 – Фрагмент тектонической карты юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [Конторович и др., 2001]. .....	37
Рисунок 7 – Карта средних концентраций органического углерода в баженовской свите [Конторович и др., 2018]. .....	43
Рисунок 8 – Карта стадий катагенеза по отражательной способности витринита [Конторович и др., 2009; Фомин, 2011]. .....	44
Рисунок 9 – Карта современных пластовых температур баженовской свиты [Скворцов и др., 2018]. .....	46
Рисунок 10 – Фрагмент схематической карты перспектив нефтегазоносности баженовского горизонта центральных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ресурсы нефти и растворённого газа) [Конторович и др., 2019]. .....	48
Рисунок 11 – Карта фактического материала. ....	51
Рисунок 12 – Геолого-геофизический планшет скважины М-1. ....	60
Рисунок 13 – Геолого-геофизический планшет скважины М-2. ....	61
Рисунок 14 – Геолого-геофизический планшет скважины М-3. ....	62

Рисунок 15 – Геолого-геофизический планшет скважины М-4.....	63
Рисунок 16 – Породы нижней части пачки 1. ....	66
Рисунок 17 – Микстит кероген-глинисто-кремнистый с обломком скелета рыбы (скв. М-3, гл. 2971.08 м).....	67
Рисунок 18 – Пиритизированные скелеты радиолярий различной сохранности в образце нижней части пачки 1.....	67
Рисунок 19 – Образцы верхней части пачки 1. ....	69
Рисунок 20 – Породы пачки 2.....	70
Рисунок 21 – Радиолярии в образцах пачки 2.....	71
Рисунок 22 – Породы центральной части пачки 2.....	74
Рисунок 23 – Породы пачки 3.....	75
Рисунок 24 – Породы слоя «а» пачки 3.....	75
Рисунок 25 – Силицит керогеновый с обломком скелета рабы в слое «а» пачки 3 (скв. М-1, гл. 2939.54 м).....	76
Рисунок 26 – Породы пачки 3.....	77
Рисунок 27 – Породы пачки 4.....	79
Рисунок 28 – Образцы пачки 4 с костными остатками рыб удлиненной формы..	80
Рисунок 29 – Радиолярии в образцах пачки 4.....	81
Рисунок 30 – Силицит керогеновый со сфалеритом (скв. М-1, гл. 2936.62 м).....	82
Рисунок 31 – Породы слоя «а» пачки 5.....	83
Рисунок 32 – Породы слоя «b» пачки 5. ....	84
Рисунок 33 – Породы слоя «с» пачки 5.....	85
Рисунок 34 – Образцы слоя «а» пачки 5 со сфалеритом.....	85
Рисунок 35 – Породы верхней части слоя «а» и слоя «b» пачки 5. ....	86
Рисунок 36 – Микстит кероген-глинистый в слое «с» пачки 5 с повышенным содержанием в образцах пирита различной формы (а –   , б – ×) (скв. М-4, гл. 2880.44 м). ....	87
Рисунок 37 – Породы подачимовской толщи. ....	89

Рисунок 38 – Микстит глинистый в подачимовской толще с костным остатком рыбы удлиненной формы (скв. М-4, гл. 2878.97 м).....	89
Рисунок 39 – Гистограмма распределения оцененных скоростей осадконакопления выделенных пачек и доля участия в седиментации компонентов. ....	95
Рисунок 40 – Корреляционный профиль по линии скважин «М-2 – М-1 – М-3»..	96
Рисунок 41 – Зависимость скоростей осадконакопления органического вещества от кремнистого материала в пачках баженовской свиты в разрезах изученных скважин.....	98
Рисунок 42 – Структурная карта по подошве баженовской свиты.....	104
Рисунок 43 – Карта толщин баженовской свиты [Саитов, 2023].....	105
Рисунок 44 – Зависимость параметра $S_1$ от ТОС в изученных разрезах.....	111
Рисунок 45 – Скелеты радиолярий с растворенным внутренним пространством (показаны стрелочками) в образцах с максимальными значениями пористости (слева –   , справа – ×) (скв. М-1, гл. 2940.14 м).....	113
Рисунок 46 – Гистограммы распределения значений пористости до (а) и после (б) экстракции [Горшков, Саитов, 2023]. ....	114
Рисунок 47 – Раскристаллизованные радиолярии с минимальными значениями пористости слоя «b» пачки 3 (слева –   , справа – ×) (скв. М-2, гл. 3020.63 м).....	116
Рисунок 48 – Практически полное отсутствие пор в образце с минимальными значениями пористости слоя «b» пачки 3 (скв. М-2, гл. 3020.63 м).....	117
Рисунок 49 – Геолого-геофизические плашнеты разрезов скважин М-1, М-2, М-3 и М-4 с основными критериями выделения интервала-коллектора. ....	122

**СПИСОК ТАБЛИЦ**

Таблица 1 – Классификация пород баженовской свиты.....	22
Таблица 2 – Обозначения градаций катагенеза.....	45
Таблица 3 – Типы лабораторных исследований и объемы выполненных работ.....	53
Таблица 4 – Среднее содержание основных породообразующих компонентов.....	68
Таблица 5 – Характеристики изученных скважин.....	118
Таблица 6 – Результаты испытаний баженовской свиты на приток.....	124