

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Вайтехович Анастасия Петровна

**Петрографический состав органического вещества баженовской
высокоуглеродистой формации Западно-Сибирского НГБ**

Специальность 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и
газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2026

Диссертация подготовлена на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель: *Пронина Наталья Владимировна*
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент

**Официальные
оппоненты:**

Вялов Владимир Ильич – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, отдел геологии горючих ископаемых

Бушнев Дмитрий Алексеевич – доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, старший научный сотрудник, Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения РАН, лаборатория органической геохимии, заведующий

Рыжкова Светлана Владимировна – кандидат геолого-минералогических наук, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН лаборатория проблем геологии, разведки и разработки месторождений трудноизвлекаемой нефти, старший научный сотрудник

Защита диссертации состоится «05» июня 2026 года в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.8 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, ауд. А-621.
E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3908>.

Автореферат разослан «___» 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Е.Н. Полудеткина

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Органическая петрология (углепетрография) входит в комплекс методов исследования органического вещества (ОВ) нефтегазоматеринских или потенциально нефтегазоматеринских толщ и позволяет изучать его в ненарушенном состоянии, обеспечивая получение детальной информации о типе ОВ, его генерационном потенциале, зрелости и предполагаемом составе углеводородных флюидов в сочетании с геохимическими методами. Органическое вещество баженовской свиты и её аналогов наиболее активно изучалось в 1970–1990-е годы, когда аналитические возможности были ограничены, вследствие чего исследования проводились в шлифах в проходящем свете или концентратах керогена, а вещество описывалось как аморфная масса; измерения показателя отражения из-за отсутствия витринита в толще как правило, не выполнялись. В настоящее время развитие приборной базы и анализ в аншлифах в отражённом и ультрафиолетовом свете позволяют диагностировать микрокомпоненты размером до 2–5 мкм и выполнять измерения показателя отражения различных мацералов. Все еще недостаточно изученным остаётся вопрос сопоставимости современных углепетрографических данных с ранее полученными результатами, а также проблема выбора надёжных оптических индикаторов зрелости в толщах с отсутствием сингенетичного витринита.

Район исследования относится к центральной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (НГБ) и включает Красноленинскую, Фроловскую, Среднеобскую, Пур-Тазовскую, Надым-Пурскую, Каймысовскую и Гыданскую нефтегазоносные области, в которых располагаются крупнейшие месторождения, такие как Самотлорское, Мамонтовское, Приобское, Фёдоровское, Красноленинская группа месторождений. Применение комплексных исследований нефтегазоматеринских пород направлено не только на оценку генерационного потенциала органического вещества, но и условий его реализации, что является основой для изучения и прогноза нетрадиционных объектов, включая трудноизвлекаемые запасы (ТРИЗ), к которым относятся породы баженовской свиты и ее возрастных аналогов. В условиях неоднородности состава ОВ в пределах Западно-Сибирского НГБ требуется обязательное привлечение оптических методов исследования. Для корректной оценки запасов и восстановления истории развития бассейна необходима детальная характеристика состава и степени преобразованности органического вещества, генерирующего углеводородные флюиды.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является органическое вещество баженовской высокоуглеродистой формации (БВУФ) Западно-Сибирского НГБ. Предметом исследования является мацеральный состав органического вещества БВУФ и оценка степени его катагенетической преобразованности.

Целью данной работы является выявление особенностей состава органического вещества и изменения его качественных и количественных характеристик в процессе катагенеза.

Задачи:

1. Детальное качественное и количественное описание мацерального состава баженовской высокоуглеродистой формации с применением новейшей номенклатуры органической петрологии.
2. Выделение критериев для описания признаков трансформации органического вещества. Составление шкалы сопоставления качественных (цвет мацерала в отраженном свете, цвет люминесцентного свечения мацерала, особенности морфологии, характер распределения в породе) и количественных (T_{\max} и R , %) признаков в естественных и искусственно полученных образцах в процессе гидропиролиза.
3. Обоснование наиболее информативных мацералов как индикаторов степени зрелости органического вещества по показателю отражения, а также верификация и уточнение данных по степени зрелости органического вещества в пределах ранее составленной коллективом кафедры схемы катагенеза.

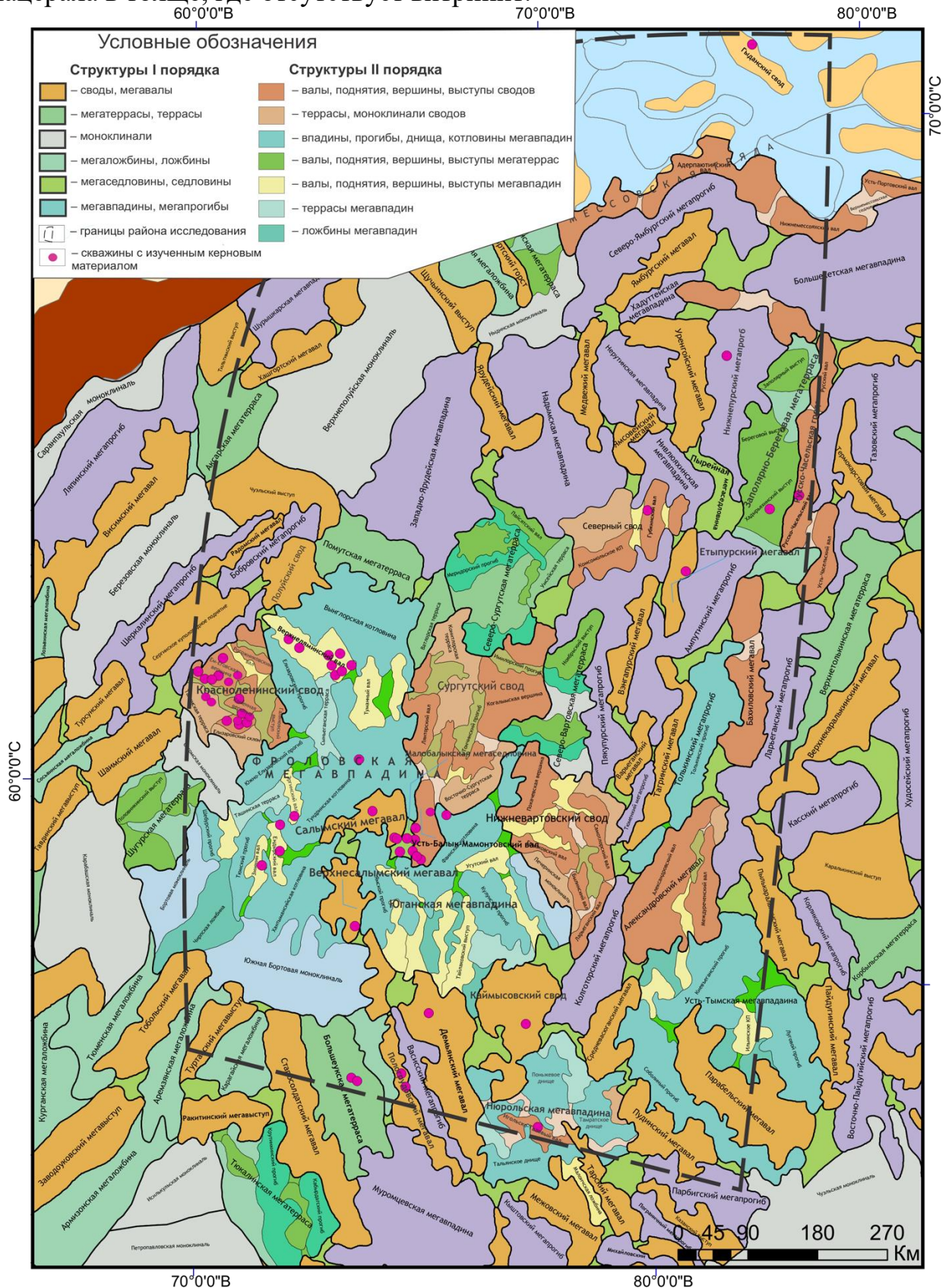
Фактический материал и личный вклад автора. В основу работы положены материалы исследований 25 месторождений с данными керн по 45 скважинам (Рисунок 1). Анализ органического вещества БВУФ проводился по 245 аншлифам, проанализированными автором. Данные углепетрографии сопоставлялись с результатами пиролиза по этим же образцам, литологическими и палеонтологическими исследованиями, также автор пользовался литологическими описаниями и палеонтологическими определениями.

При опубликовании полученных результатов, подготовленных совместно с соавторами, вклад соискателя был существенным и заключается в следующем: непосредственно автором выполнены углепетрографические исследования, включая микроскопическое описание мацерального состава, его количественную характеристику, определение зрелости по показателю отражения битуминита/онихитов/диноцист и иных микрокомпонентов. Автор принимал участие в обработке и обобщении результатов, а также в их геологической интерпретации при оценке условий формирования и зрелости органического вещества нефтегазоматеринских пород.

Методы исследования заключались в комплексировании геолого-геохимической информации по БВУФ. В основе работы лежит метод органической петрологии. Исследования проводились на полированных аншлифах в отраженном белом и ультрафиолетовом (УФ) свете. Данный подход позволил провести качественное и количественное определение мацерального состава ОВ в соответствии с современной классификацией Международного Комитета по углепетрографии и органической петрологии и измерить показатель отражения битуминита (RB , %) и онихитов ($R_{onh}\%$) – основных нефтематеринских компонентов БВУФ. Для верификации и дополнения петрографических данных был применен пиролитический анализ. Для моделирования природных процессов катагенеза и изучения трансформации ОВ использовался метод гидропиролиза.

Научная новизна. Впервые детально в соответствии с актуальной классификацией органического вещества Международного Комитета по

углепетрографии и органической петрологии (ICSP) описан мацеральный состав баженовской высокоуглеродистой формации и выделены качественные оптические признаки трансформации ОВ, а также проведена оценка степени зрелости по показателю отражения битуминита как главного нефтематеринского мацерала в толще, где отсутствует витринит.



Помимо этого, предложено использование показателя отражения зоокластов, а именно онихитов как более часто встречающихся наравне с показателем отражения битуминита.

Исследования продемонстрировали, что традиционные методы углепетрографии, разработанные для концентрированного ОВ, могут быть применены и для рассеянного ОВ (РОВ). Однако важнейшим элементом микроскопических исследований РОВ наравне с измерением показателя отражения является применение люминесцентных методов, позволяющих выявлять даже битумные пленки, которые невозможно увидеть в простом свете оптического микроскопа. Этот вид исследований расширяет возможности стадийных оценок изменения ОВ пород.

Защищаемые положения.

1. Мацеральный состав органического вещества баженовской высокоуглеродистой формации представлен битуминитом, онихитами (являющимися основными), телальгинитом, ламальгинитом, остатками диноцист и радиолярий, а также разнообразными переотложенными фрагментами витринита и неопределимыми биокластами разной природы, составляющими незначительные количества и являющимися второстепенными. Установлена приуроченность их к различным частям разреза.
2. Процесс трансформации органического вещества происходит в мацералах неодновременно и характеризуется индивидуальным изменением качественных признаков.
3. Количественным критерием преобразованности органического вещества и вмещающих его пород могут быть приняты показатели отражения основных мацералов, которые демонстрируют синхронные изменения в ходе катагенеза и хорошо коррелируются с геохимическими (пиролитическими) параметрами зрелости.

Теоретическая и практическая значимость. Работа подтверждает эффективность комплексного подхода, основанного на использовании углепетрографических и геохимических методов. Показано, что классическая углепетрография, уже прочно вошедшая в обязательный комплекс аналитических исследований концентрированного ОВ, может быть адаптирована для анализа рассеянного органического вещества нефтегазоматеринских толщ, тем самым расширяя возможности и точность прогноза нефтегазоносности.

Выявленные признаки трансформации органического вещества в породах различной степени катагенетической преобразованности получили подтверждение в экспериментах по лабораторному моделированию природных процессов (гидропироллизе). Это позволило обосновать и разработать шкалу оптических признаков, основанную на совокупности ключевых оптических (цвет, отражательная способность мацералов) и геохимических параметров (T_{\max} , данные гидропироллиза), обеспечивающую более надежный прогноз нефтегазоносности

Показано, что углепетрографические методы применимы и к толщам, не содержащим витринита. Использование диагностических оптических признаков битуминита и онихитов позволяет проводить оценку катагенетической зрелости непосредственно при изучении керна, что особенно важно для оперативных решений на ранних стадиях геологоразведочных работ.

Степень достоверности результатов. Все представленные результаты аналитических исследований керна получены с помощью современного лабораторного оборудования. Полученные результаты не противоречат исследованиям на данную тему, опубликованным в независимых источниках.

Апробация работы. Основные положения, результаты и выводы по теме диссертации отражены в 6 научных публикациях на русском и английском языках, которые изданы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений и отрасли геолого-минералогических наук.

Основные результаты исследования докладывались на российских и международных совещаниях и конференциях с 2022 по 2026 гг., среди них «Успехи органической геохимии: 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), «Геохимия и петрография угля, горючих сланцев и битуминозных пород» (г. Сыктывкар, 2023), «Фундаментальные, глобальные и региональные проблемы геологии нефти и газа Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика РАН А.Э. Конторовича (г. Новосибирск, 2024), 75th International Committee for Coal and Organic Petrology meeting in Oviedo (г. Овьедо, 2024), «Ломоносовские чтения» (г. Москва, 2024), Научно-практический форум «Современные вопросы литологии, морской геологии, геохимии и петрофизики-2026. Наука. Обучение. Практика»» (г. Москва, 2026).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из 5 глав, введения, заключения, списка литературы. Общий объем работы составляет 113 страниц печатного текста, в том числе 74 рисунка, 3 таблицы, список литературы включает 119 наименований.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Характеристика баженовской высокоуглеродистой формации и условий ее формирования

В главе приведена характеристика баженовской высокоуглеродистой формации Западной Сибири, рассмотрены её стратиграфическое положение и соотношение с возрастными аналогами (тутлеймской, яновстанской, гольчихинской, мулымьинской и др. свитами), а также тектоническое строение района исследований, история геологического развития и палеогеографические условия формирования. Баженовская свита И.В. Панченко и коллективом МГУ (Панченко и др., 2015; Хотылев и др., 2021б) была разделена на 6 пачек (Рисунок 2), которые хорошо выделяются для

Красноленинского, Сургутского, Нижневартовского сводов и Фроловской мегавпадины, т.е. для центральной части Западной Сибири, к которой и приурочен регион исследования, на прилегающих территориях пачки теряют свои литолого-геохимические признаки.

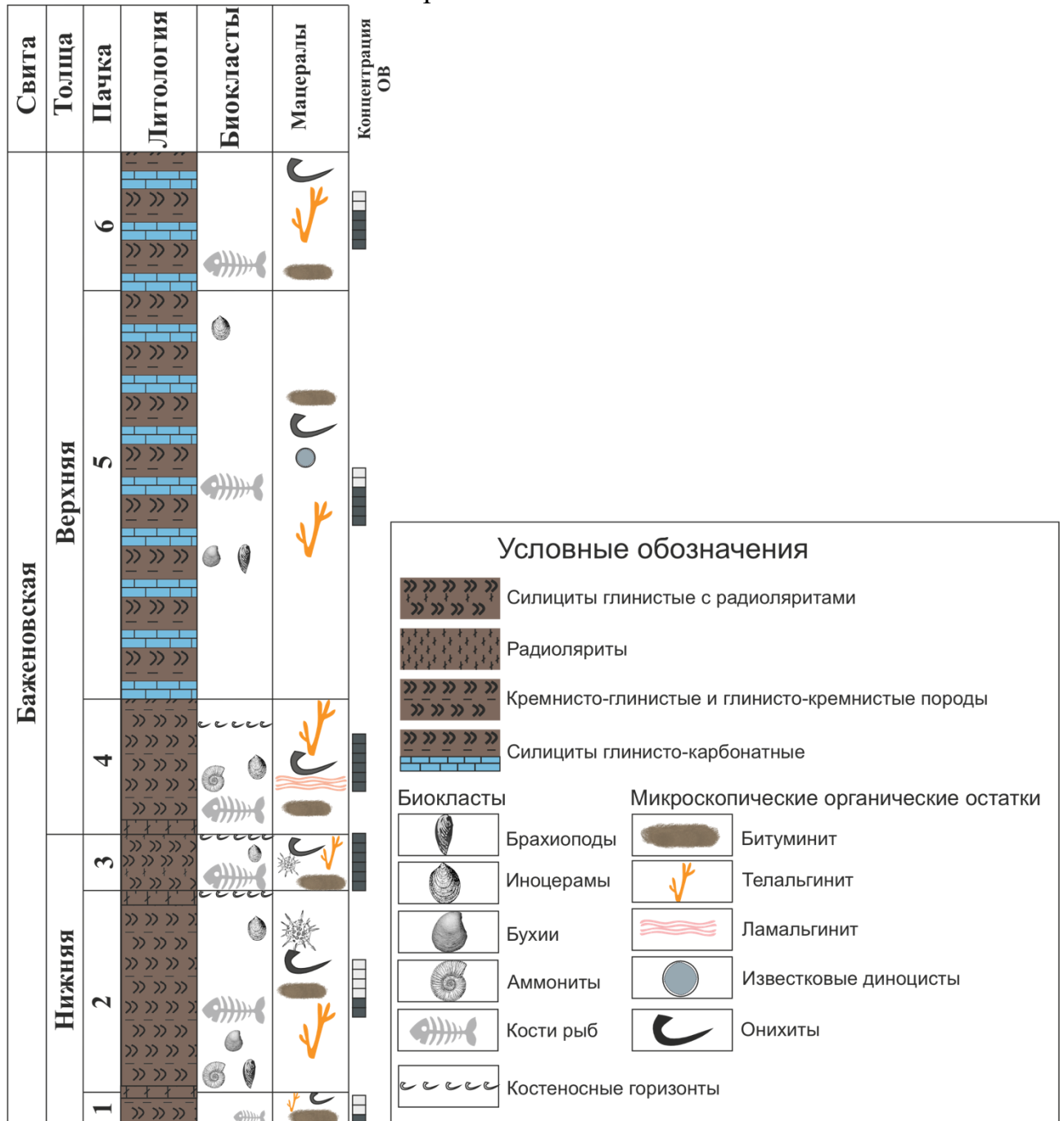


Рисунок 2 – Принципиальная схема расчленения баженовской свиты на пачки (составлено автором по Панченко, 2023; Хотылев и др., 2021б)

Баженовская формация представляет собой комплекс верхнеюрско–нижнемеловых кремнисто-глинистых отложений, обогащённых аквагенным органическим веществом, и является одновременно нефтегазоматеринской толщей и коллектором. Формирование отложений происходило в условиях эпиконтинентального морского бассейна с некомпенсированным прогибанием дна, низкими темпами седиментации и ограниченным поступлением

терригенного материала. В волжско–берриасское время бассейн достиг максимальных глубин и площади, что сопровождалось развитием восстановительных и аноксических условий в придонной зоне.

Рассмотрено влияние тектонического строения и палеорельефа на формирование фациальной зональности и латеральной изменчивости разрезов баженовской формации.

Установлено, что накопление органического вещества связано с длительно функционирующей высокопродуктивной пелагической экосистемой, поддерживаемой апвеллинговыми процессами. Сочетание высокой биопродуктивности, низких скоростей осадконакопления и восстановительных условий придонной среды обеспечило формирование высокоуглеродистых отложений с уникальными литолого-геохимическими характеристиками.

Глава 2. Методика исследования органического вещества БВУФ

В главе рассмотрена история изучения органического вещества баженовской свиты и методов оценки его степени зрелости, а также изложены применяемые в работе методические подходы. Рассмотрено, что ранние углепетрографические исследования в середине XX века были сосредоточены на концентрированном ОВ (углях и углистых породах). В 1980–1990-х гг. исследования получили дальнейшее развитие в работах И.Б. Волковой, Г.М. Парпаровой и А.В. Жуковой, применивших методы классической углепетрографии к изучению нефтегазоматеринских толщ (включая баженовскую свиту). Они изучали ОВ в концентратах нерастворимой части – керогена. Были введены новые термины, такие как сорбомикстинит, псевдовитринит, коллоальгинит, талломоальгинит, на данный момент ушедшие из употребления. Оценка степени зрелости в этих работах основывалась на измерениях показателя отражения витринита (преимущественно в воздухе) исключительно для углей и углистых пород, а также показателя преломления коллоальгинита для нефтегазоматеринских толщ (в частности, для баженовской свиты).

В последующих исследованиях А.Н. Фомин развивает методический подход, предложенный Г.М. Парпаровой и А.В. Жуковой, сохраняя используемую ими терминологию и дополняя её введением новых шкал для оценки степени катагенеза. На основе обширного фактического материала им с соавторами были построены региональные схемы зрелости органического вещества, включая карту по кровле юры для территории Западной Сибири.

Таким образом, указанные исследования заложили фундамент для дальнейшего изучения органического вещества баженовской свиты, но сегодня уже устарели терминологически и методически. Современные стандарты предусматривают проведение исследований на аншлифах и измерение показателя отражения исключительно в иммерсионной среде, что обуславливает необходимость переоценки ранее полученных данных с использованием современных методических подходов.

Углепетрографические исследования выполнены на аншлифах, изготовленных из керна материала в соответствии с ГОСТ Р 55663—2013 (ISO 7404-2:2009) на микроспектрофотометре QDI 302 (CRAIC Technologies,

США), установленном на базе микроскопа Leica DM 2500 P (Leica, Германия) с иммерсионным объективом 50x/0.85 Leica Germany и микроспектрофотометре Craic 508 PV (CRAIC Technologies, США) на базе микроскопа Zeiss Axioscope 5 (Zeiss, Германия) с иммерсионным объективом 50x/1.0 Epiplan-NEOFLUAR. Определение мацерального состава проводилось в простом отражённом белом и ультрафиолетовом свете по ГОСТ Р 55662–2013 (ИСО 7404-3:2009) с использованием современной классификации мацералов рассеянного ОБ (ГОСТ Р 58221-2018 (ИСО 7404-1:2016); ICCP System 1994, 1998, 2001; Mastalerz, 2018; Gonçalves et al., 2024). Измерение показателя отражения проводилось в иммерсионном масле с использованием указанных выше иммерсионных объективов по эталону Spinel ($R = 0.426\%$) в соответствии с ГОСТ Р 55659–2013 (ИСО 7404-5:2009) в программе Craic CoalPro.

Пиролитические исследования проведены методом Rock-Eval (Espitalié et al., 1977, 1985) на установке HAWK Resource Workstation с определением параметров S_1 , S_2 , T_{max} и водородного индекса (HI). Для повышения достоверности интерпретации анализ выполнялся до и после экстракции битумоидов.

Дополнительно выполнено лабораторное моделирование преобразования органического вещества методом гидропиролиза (акватермолиза), с последующим пиролитическим и углепетрографическим анализом образцов до и после прогрева.

Применённый комплекс методов обеспечивает комплексную характеристику органического вещества, включая его мацеральный состав, генерационный потенциал и степень катагенетической преобразованности.

Глава 3. Мацеральный состав органического вещества БВУФ

В главе приведена характеристика мацерального состава органического вещества баженовской высокоуглеродистой формации на основе действующей международной классификации. Органическое вещество БВУФ отличается выраженной неоднородностью и изменчивостью мацерального состава, обусловленной фаціальными условиями осадконакопления, которые обнаруживаются в принадлежности отложений к различным литологическим пачкам. В БВУФ преобладают мацералы группы липтинита «водорослевой природы» – альгинит и битуминит, а также зоокласты, представленные, прежде всего, онихитами, в незначительном количестве встречаются известковые диноцисты (кальцисферы), радиолярии, переотложенный (привнесённый) витринит и остальные биокласты (Таблица 1).

Таблица 1 – Классификация ICCP мацералов рассеянного ОБ с доб. (Gonçalves et al., 2024)

Группа	Мацерал
Липтинита	Альгинит телальгинит ламальгинит
	Битуминит
Зоокласты	Сколекодонты
	Граптолиты
	Хитинозои
	Фораминиферы
	*

Вторичные продукты	Твердый битум
	Пиробитум
	Нефть

*Онихиты пока не введены в действующую классификацию

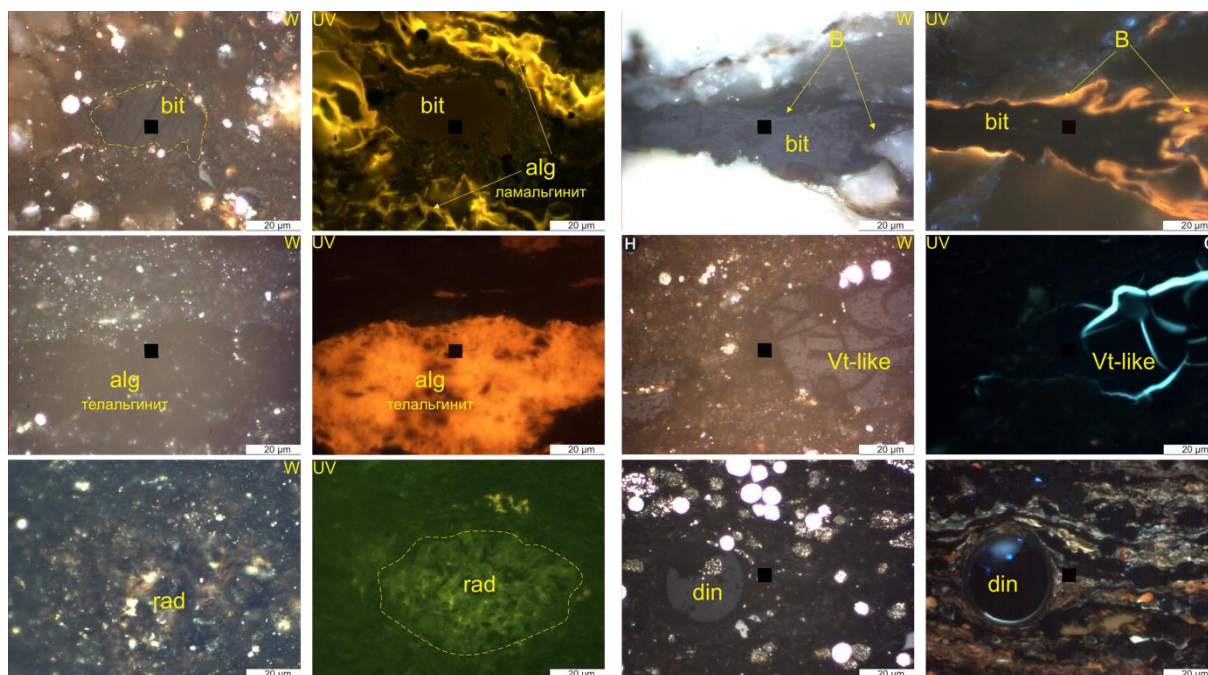


Рисунок 3 – Разнообразие мацерального состава, принятые сокращения: *alg* (alginite) – альгинит, *bit* (bituminite) – битуминит, *B* (bitumen) – битум, *Vt-like* – витринитоподобные включения, *rad* (radiolarian) – радиоларии, *din* (dinocysts) – диноцисты, *W* (white) – простой отраженный белый свет, *UV* (ultraviolet) – ультрафиолетовый свет

Альгинит в БВУФ представлен телальгинитом – изолированными фрагментами в виде отдельных тел с иногда различной структурой и ламальгинитом – бесструктурными нитевидными сгустками, наследующими слоевища водорослей. Телальгинит встречается редко, максимум его содержания достигает 5 об.%. Ламальгинит встречается исключительно в 4 пачке в виде прослоев мощностью до 50 мм и в концентрированной форме может достигать 80 об.%. Альгинит отличается интенсивной люминесценцией в ультрафиолетовом свете, по которой легко диагностируется, в простом отраженном свете имеет коричневый цвет и часто размытые контуры.

Битуминит является главным мацералом БВУФ, он встречается как в виде основной массы, так и в виде изолированных фрагментов, ориентированных по напластованию в породе, в простом отраженном свете имеет серый или коричневый цвет и различную степень люминесценции. Битуминит представлен рядом разновидностей, интерпретируемых в данной работе как догенерационная, генерационная и постгенерационная формы, отражающие последовательные стадии преобразованности органического вещества. Оценка стадийности проводится на основе совокупности морфологических и оптических признаков (подробно рассмотренных в следующей главе). Введение указанных градаций обусловлено необходимостью описания непрерывных переходов между различными формами битуминита и связанных с ними продуктов преобразования, что затрудняет их однозначную классификацию в рамках

существующих схем. Следует отметить, что в международной практике для обозначения более преобразованных (вторичных) микрокомпонентов широко используется термин *solid bitumen*. В настоящей работе соответствующие объекты рассматриваются в составе постгенерационного битуминита, что позволяет сохранить генетическую преемственность описания и избежать терминологической неоднозначности, связанной с различием между геохимическим и петрографическим пониманием термина «твердый битум».

Важным микрокомпонентом органического вещества являются онихиты — ископаемым крючья головоногих моллюсков, которые могут быть отнесены к группе зоокластов. Термин *Onychites* (от греч. *onychos* – *ноготь*), введенный Ф. Квенштедтом в 1858 году, носит паратаксономический характер и служит для определения изолированных находок. Они встречаются массово и представлены крупными (0.2–7 мм) изогнутыми фрагментами характерной серповидной формы. В отражённом белом свете онихиты по серой окраске напоминают витринит, однако уверенно диагностируются по специфической морфологии и крупным размерам (Рисунок 4). В ультрафиолетовом свете проявляется их выраженное зональное строение: дугообразные зоны, повторяющие контур крючка и отражающие послойный рост. В отдельных образцах наблюдается двойная зональность — внутренняя и периферическая, предположительно связанная с двумя фазами формирования крючка.

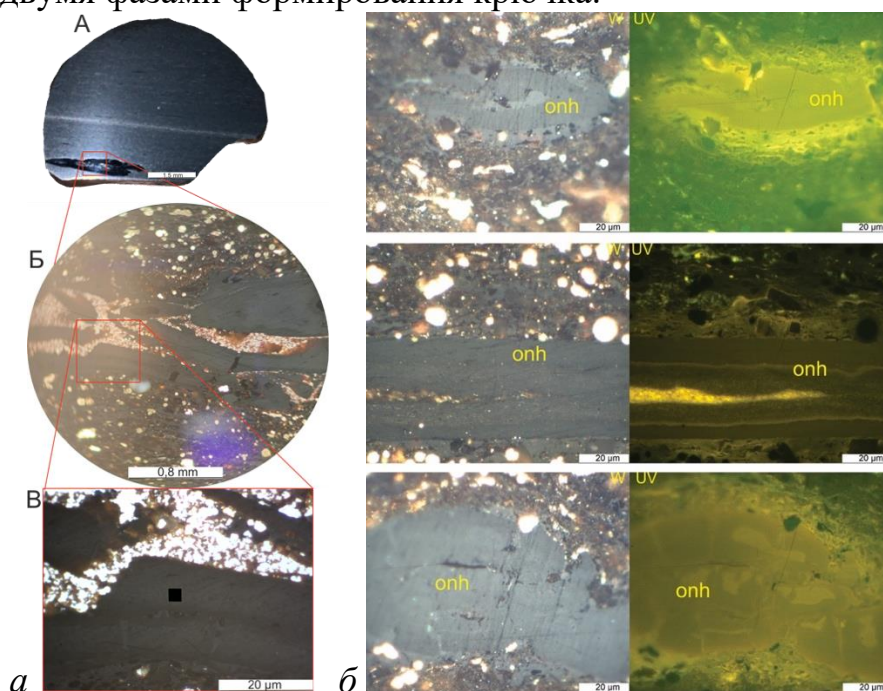


Рисунок 4 – а: фото онихита макроскопически: А - в анилифе, Б - из окуляра микроскопа, В – в микроспектрофотометре QDI 302 в простом отраженном свете; б: онихиты (onh) в простом отраженном белом (W) и ультрафиолетовом свете (UV) в микроспектрофотометре Craic 508 PV

Помимо вышеуказанных мацералов встречаются в незначительных количествах сопутствующие биогенные компоненты органического вещества — известковые цисты динофлагеллят, радиолярии и другие биокласты, присутствие которых важно для реконструкции условий осадконакопления и биопродуктивности баженовского моря.

Таким образом, органическое вещество баженовской высокоуглеродистой формации характеризуется изменчивым мацеральным составом, обусловленным фациальными условиями осадконакопления и дифференциацией разреза на пачки. В его составе преобладают мацералы группы липтинита водорослевого происхождения — альгинит и, прежде всего, битуминит, формирующий основную массу органического вещества и представленный различными разновидностями, что позволяет рассматривать его как ключевой компонент при оценке степени преобразованности. Альгинит представлен телальгинитом в незначительных количествах и ламальгинитом, формирующим локальные прослои, приуроченные к 4 пачке. Существенную роль играют зоокласты, представленные онихитами, широко распространёнными по разрезу и отличающимися устойчивостью к катагенетическим изменениям. Сопутствующие компоненты — известковые диноцисты, радиолярии, а также биокласты и редкий привнесённый витринит — имеют подчинённое значение и отражают особенности палеоэкосистемы и условий осадконакопления (Рисунок 5). Обосновано *первое защищаемое положение*.

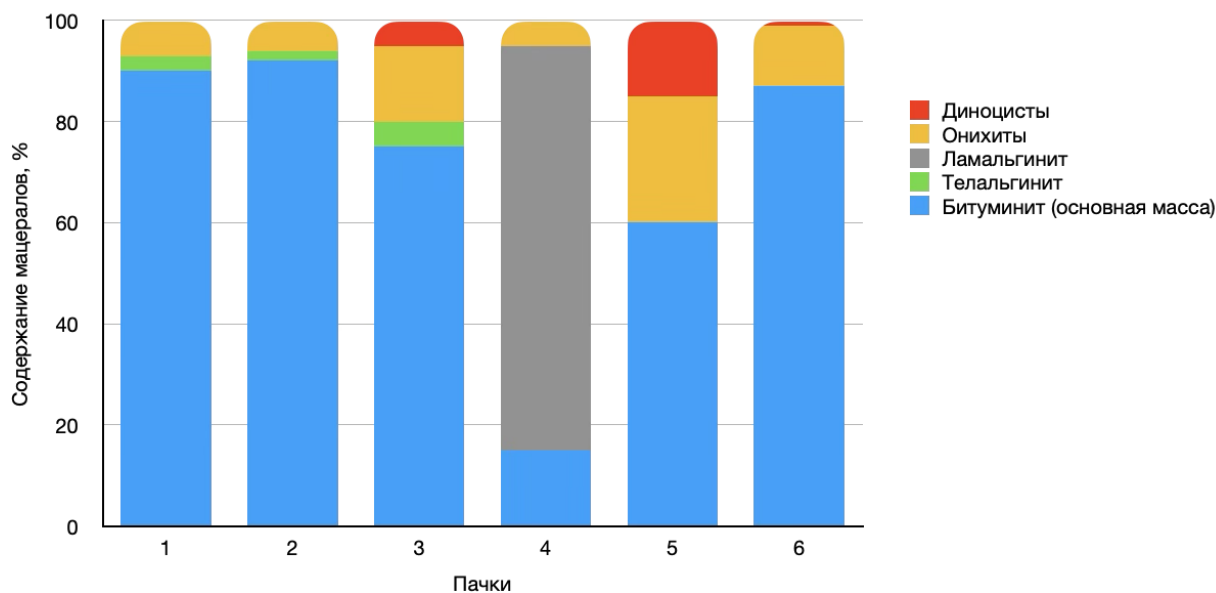


Рисунок 5 – Распределения мацерального состава ОВ по пачкам БВУФ

Глава 4. Признаки трансформации органического вещества БВУФ

В главе рассмотрены признаки трансформации органического вещества баженовской высокоуглеродистой формации на основе анализа естественных образцов и полученных в ходе лабораторного моделирования. Показано, что в пределах главной зоны нефтеобразования альгинит, битуминит и онихиты демонстрируют направленные изменения оптических и морфологических характеристик, отражающие процессы катагенетического преобразования.

Для альгинита как наиболее чувствительного к процессу преобразования мацерала характерно постепенное снижение интенсивности люминесценции вплоть до её исчезновения, а также деструкция исходных границ мацерала.

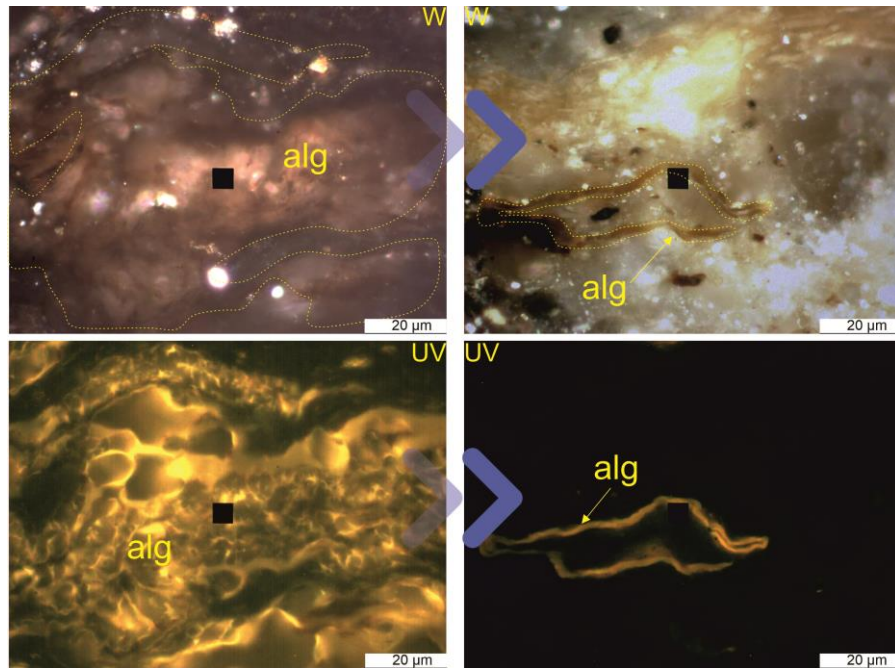


Рисунок 6 – Разные размеры и контуры альгинита в образцах с разной зрелостью. Условные обозначения: *W* – простой отраженный белый свет, *UV* – УФ свет, *alg* - альгинит

Догенерационный битуминит серого цвета в простом отраженном белом свете и практически без свечения в УФ свете становится генерационным, приобретая коричневый цвет, яркое люминесцентное свечение и сопровождается развитием вторичной (керогеновой) пористости с выделением новообразованных продуктов – битумных пленок (данный термин является исключительно петрографическим и не связан с продуктами переработки нефти) (Рисунок 7). В свою очередь генерационный битуминит становится постгенерационным, сокращаясь в размерах, приобретая ярко-серый цвет.

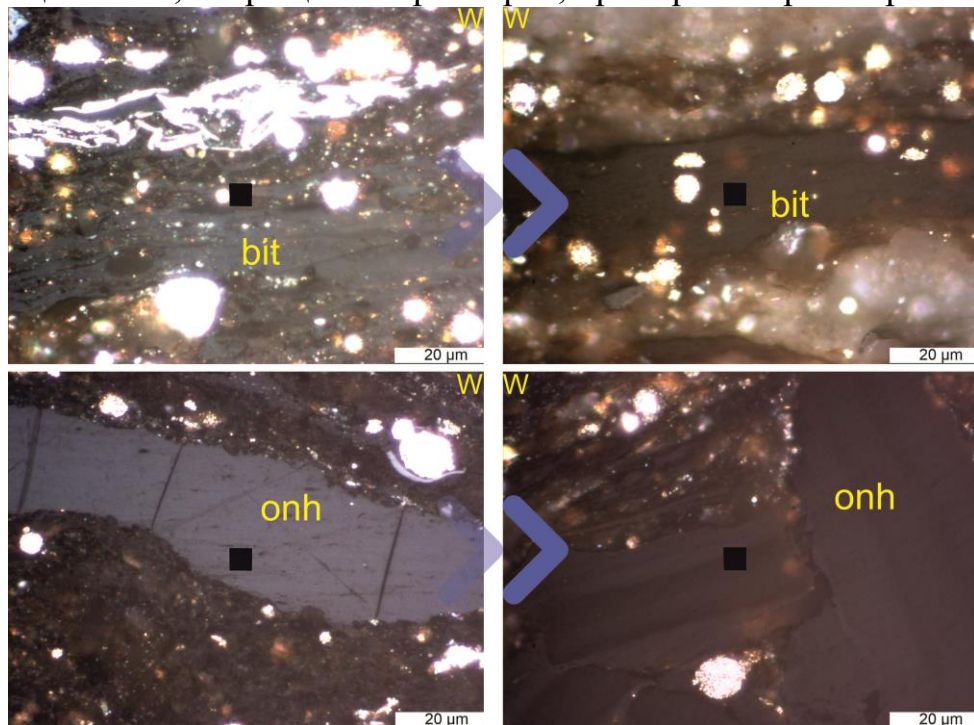


Рисунок 7 – Изменение цвета битуминита и онихитов с серого на коричневый. Условные обозначения: *W* – простой отраженный белый свет, *UV* – УФ свет, *bit* – битуминит, *onh* – онихиты

Онихиты характеризуются повышенной устойчивостью по сравнению с мацералами группы липтинита, однако также демонстрируют смену цвета, интенсивности люминесценции, формирование пористости и появление битумных пленок. При этом полного разрушения онихитов не наблюдается, что подтверждает их высокую термическую устойчивость и позволяет рассматривать их как перспективный объект для оптической оценки зрелости органического вещества в нефтематеринских толщах.

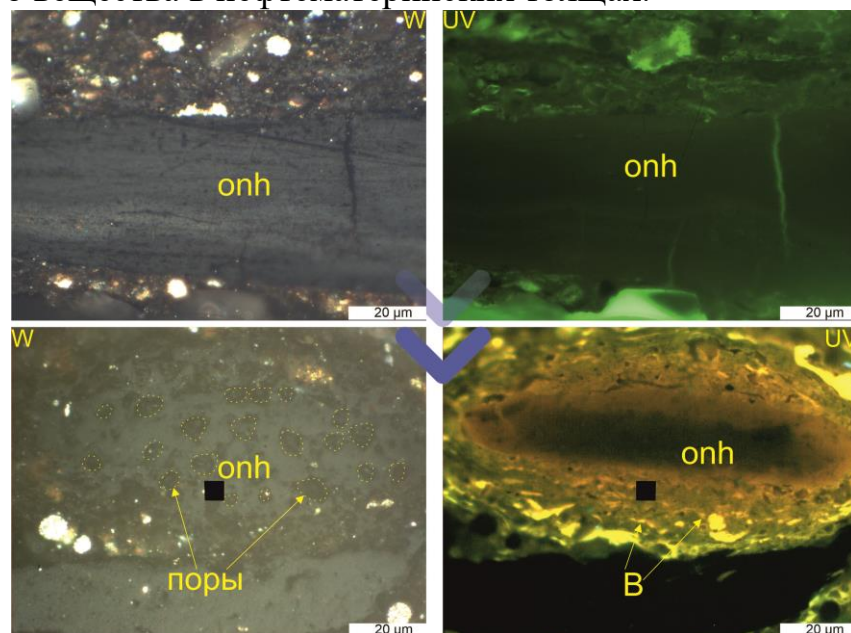


Рисунок 8 – Появление «вторичной» керогеновой пористости в онихитах.

Условные обозначения: *W* – простой отраженный белый свет, *UV* – УФ свет, *onh* – онихиты, *B* – новообразованный битум

Результаты лабораторного эксперимента подтверждают выявленные закономерности: потеря люминесценции, развитие вторичной пористости и появление битумных пленок вокруг мацералов.

Наблюдается более быстрое преобразование альгинита, в битумините на градации $RB \sim 0,3\%$ появляется вторичная (керогеновая) пористость.

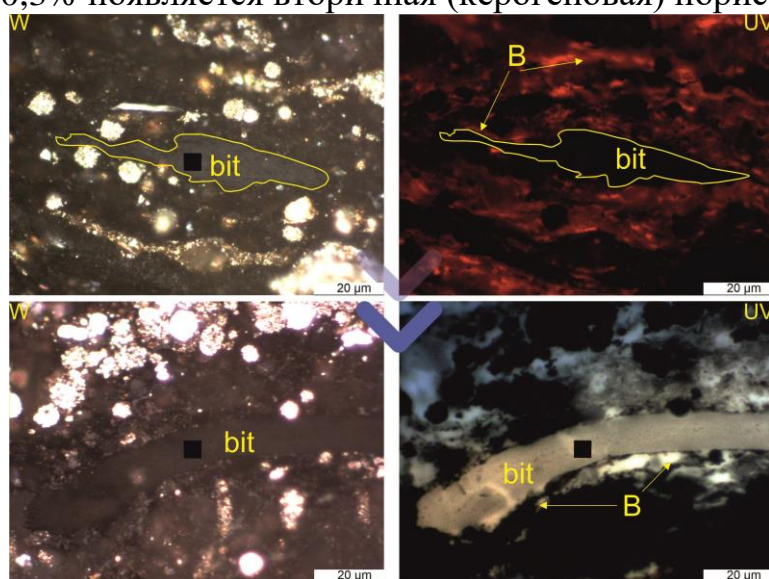


Рисунок 9 – Изменение битуминита после гидропиролиза (сверху – исходные образцы, снизу – после прогрева) в простом отраженном белом (*W*) и ультрафиолетовом свете (*UV*)

У онихитов наблюдалось возникновение шагреновой поверхности (Рисунок 10)

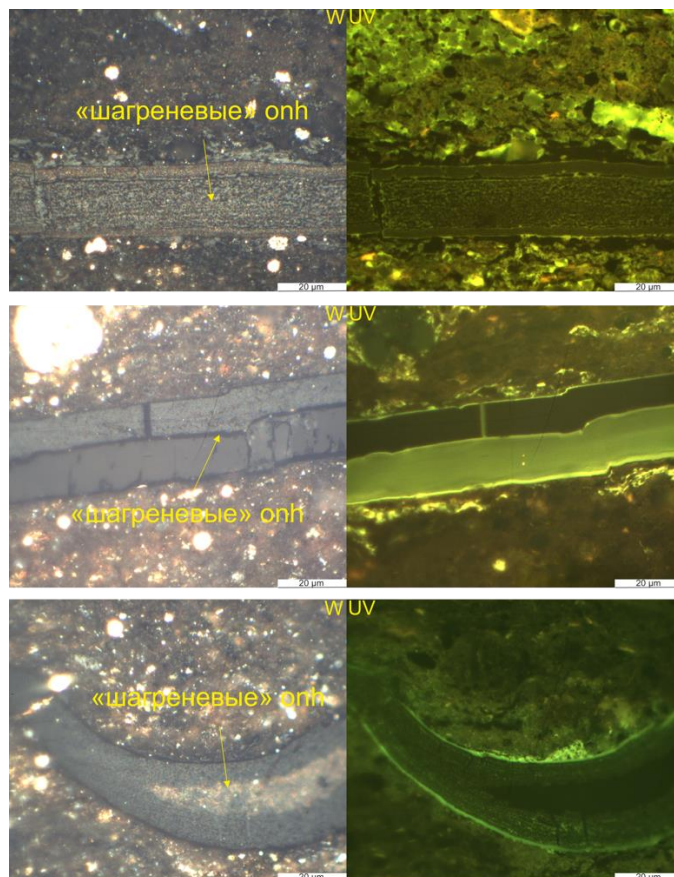


Рисунок 10 – Появление «шагреновой» поверхности у онихитов после гидропиролиза в простом отраженном белом (W) и ультрафиолетовом свете (UV)

Пиролитические данные после гидропиролиза отражают закономерное увеличение выхода жидких углеводородов, преимущественно за счёт тяжёлой фракции синтетической нефти, при подчинённом образовании газообразных продуктов. Значения водородного индекса снизились, а T_{\max} - увеличились. Детальное изменение количественных характеристик дано в главе 5.

На схеме (Рисунок 11) обобщены изменения качественных оптических признаков трансформации альгинита, битуминита и онихитов, сопоставленные с показателями отражения битуминита (RB, %) и витринита (RV, %). Альгинит вступает в процесс трансформации раньше других мацералов, приобретая свечение уже в протокатагенезе (ПК), при RB ~ 0,25% растёт интенсивность люминесценции и уменьшается к началу МК₂ при RB ~ 0,35%. В свою очередь битуминит чуть позже вступает в процесс трансформации и претерпевает наиболее выраженные изменения, включая смену цвета с серого на коричневый, проявление интенсивной люминесценции, развитие «керогеновой» пористости и образование битумных пленок на границе RB ~ 0,3%, люминесценция и пористость начинают уменьшаться при RB ~ 0,38%. Онихиты вовлекаются в процесс еще позже и демонстрируют более устойчивое поведение, сохраняя морфологию при появлении «керогеновой» пористости, люминесценции и локальных битумных пленок. Часть фрагментов онихитов в процессе

преобразования приобретает шагреневую поверхность. Предложенная схема основана на исследованных образцах и может быть уточнена на более широкой выборке данных.

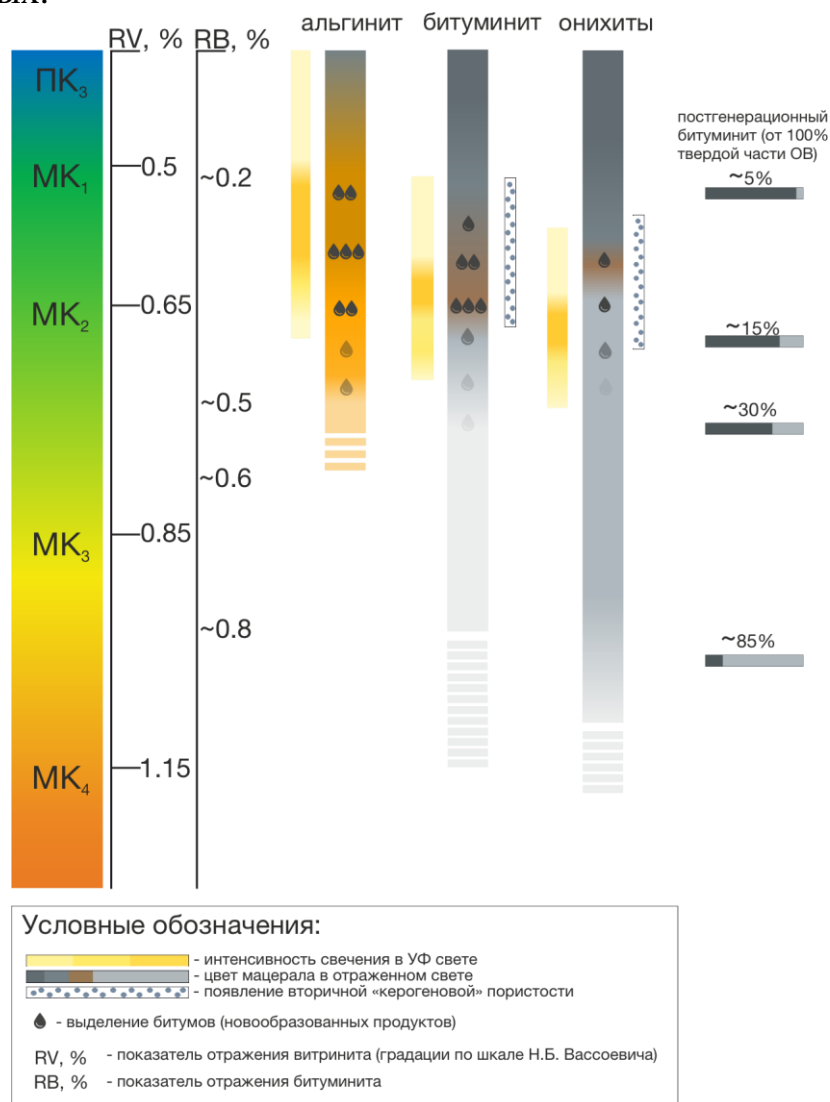


Рисунок 11 – Шкала признаков трансформации альгинита, битуминита, онихитов в БВУФ

Таким образом, показано, что для основных нефтематеринских мацералов — альгинита, битуминита и онихитов — характерен единый набор признаков катагенетического преобразования, проявляющийся в изменении оптических свойств, развитии вторичной пористости и появлению новообразованных битумных плёнок, при различной чувствительности и последовательности их проявления и обосновано *второе защищаемое положение*.

Глава 5. Оценка степени зрелости органического вещества БВУФ

В главе рассмотрены подходы к оценке степени катагенетической преобразованности органического вещества бажендовской высокоуглеродистой формации. Показатель отражения витринита (RV, %) как «золотой» стандарт среди методов оценки зрелости для угленосных толщ неприменим для бажендовской высокоуглеродистой формации вследствие отсутствия сингенетичного витринита. Для БВУФ используются альтернативные индикаторы зрелости: показатель отражения битуминита и показатель

отражения онихитов. Распределение показателей отражения построено по совокупности всех индивидуальных измерений (50–100 замеров на образец), без усреднения по образцам; в анализ включены тысячи значений R_V и R_{onh} вместо 245 точек по числу образцов, что позволяет получить более широкую картину об изменении степени зрелости (Рисунок 12). По оси абсцисс отложены значения показателя отражения (R , %), по оси ординат — количество измерений.



Рисунок 12 – Распределение значений показателя отражения онихитов (R_{onh} , %) (голубые столбцы) и битуминита (R_V , %) (фиолетовые столбцы) по совокупности индивидуальных измерений

Показатель отражения битуминита (R_V , %) в естественных образцах изменяется в диапазоне от 0,19 до 0,65 %, показатель отражения онихитов (R_{onh} , %) — от 0,18 до 0,65 %. В образцах, подвергшихся гидропиролизу, значения R_V составляют 0,29–0,70 %, а R_{onh} — 0,23–0,75 %. Вследствие зонального строения онихитов в пределах одного фрагмента могут фиксироваться различные значения показателя отражения, при этом для оценки степени зрелости использовались минимальные значения показателя отражения онихитов (R_{onh} ,%), как наиболее сопоставимые с показателями отражения битуминита (R_V ,%).

Углепетрографические исследования показали, что показатели отражения битуминита и онихитов изменяются в сопоставимых диапазонах и характеризуются высокой степенью корреляции ($R^2 \approx 0,94$) (Рисунок 13), что свидетельствует о сходной реакции этих компонентов на катагенетическое преобразование и возможности использования показателя отражения онихитов в качестве альтернативного индикатора зрелости. Следует отметить, что далеко не в каждом образце возможно одновременное присутствие онихитов и битуминита, пригодных для проведения измерений. Битуминит часто представлен в виде тонких, невыдержанных прослоев или выполняет роль основной массы в образце, что затрудняет корректное определения его показателя отражения.

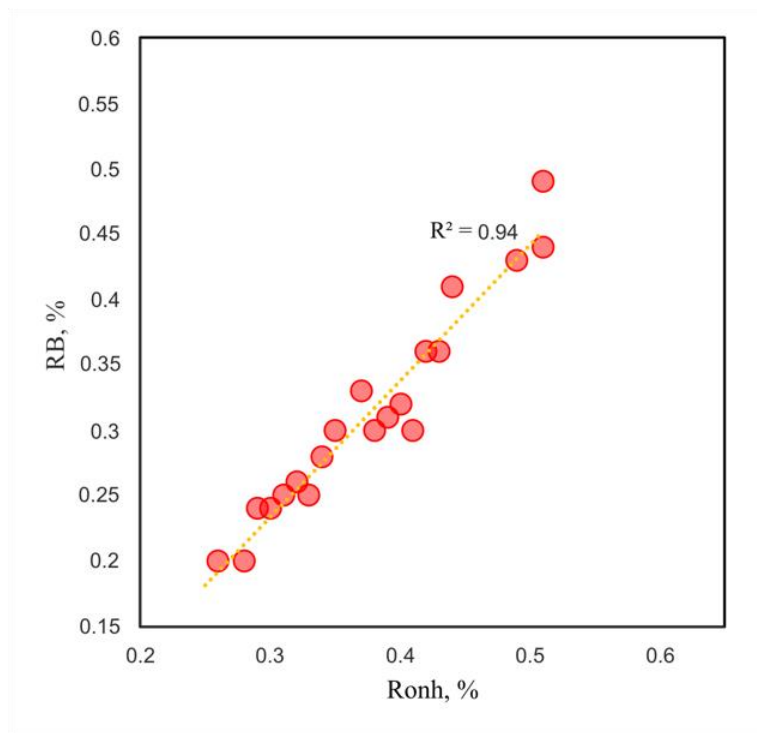


Рисунок 13 – Сопоставление показателей отражения битуминита (RB) и онихитов (Ronh) в 20 естественных образцах; пунктирной линией показана линейная регрессия ($R^2 = 0.94$) (каждое значение измерено в одном и том же образце)

В отличие от углепетрографических исследований, пиролитические анализы выполняются в значительно большем объеме: в среднем на одну скважину приходится 200–250 образцов, тогда как на углепетрографические исследования отбирается не более 20–30 образцов. По результатам пиролитических исследований установлено, что содержание органического вещества (ТОС) варьирует в широких пределах (0,89–32 % масс.), а значения T_{\max} (418–461 °С) соответствуют интервалу главной зоны нефтеобразования. Основная часть органического вещества относится ко II типу и характеризуется высоким нефтегенерационным потенциалом (Рисунок 14). При этом выявлена значительная вариабельность параметров HI и T_{\max} , обусловленная неоднородностью мацерального состава и эффектами занижения T_{\max} в высокоуглеродистых породах, что ограничивает использование данного параметра как самостоятельного индикатора зрелости.

Использование индекса трансформации (TR), рассчитанного по водородному индексу, позволило выполнить районирование катагенетической преобразованности органического вещества. Основная часть изученной территории соответствует грациям $МК_1$ – $МК_2$ (TR 10–60 %), тогда как локальные зоны повышенной зрелости (TR 75–95 %) приурочены к тектонически активным участкам и, вероятно, связаны с гидротермальной деятельностью и зонами разломов (Калмыков и др., 2024). На основе сопоставления данной схемы с углепетрографическими данными (показателями отражения битуминита и онихитов) были уточнены границы катагенетических зон для четырех нефтегазоносных областей: Фроловской, Каймысовской, Среднеобской, Пур-Тазовской. Для месторождений в трех областях (Фроловская, Каймысовская, Пур-Тазовская НГО) была уточнена и присвоена грация катагенеза $МК_1$,

показатель отражения битуминита и онихитов 0,28-0,34%. Для месторождений Среднеобской НГО - МК₂, показать отражения онихитов - 0,35-0,45% (

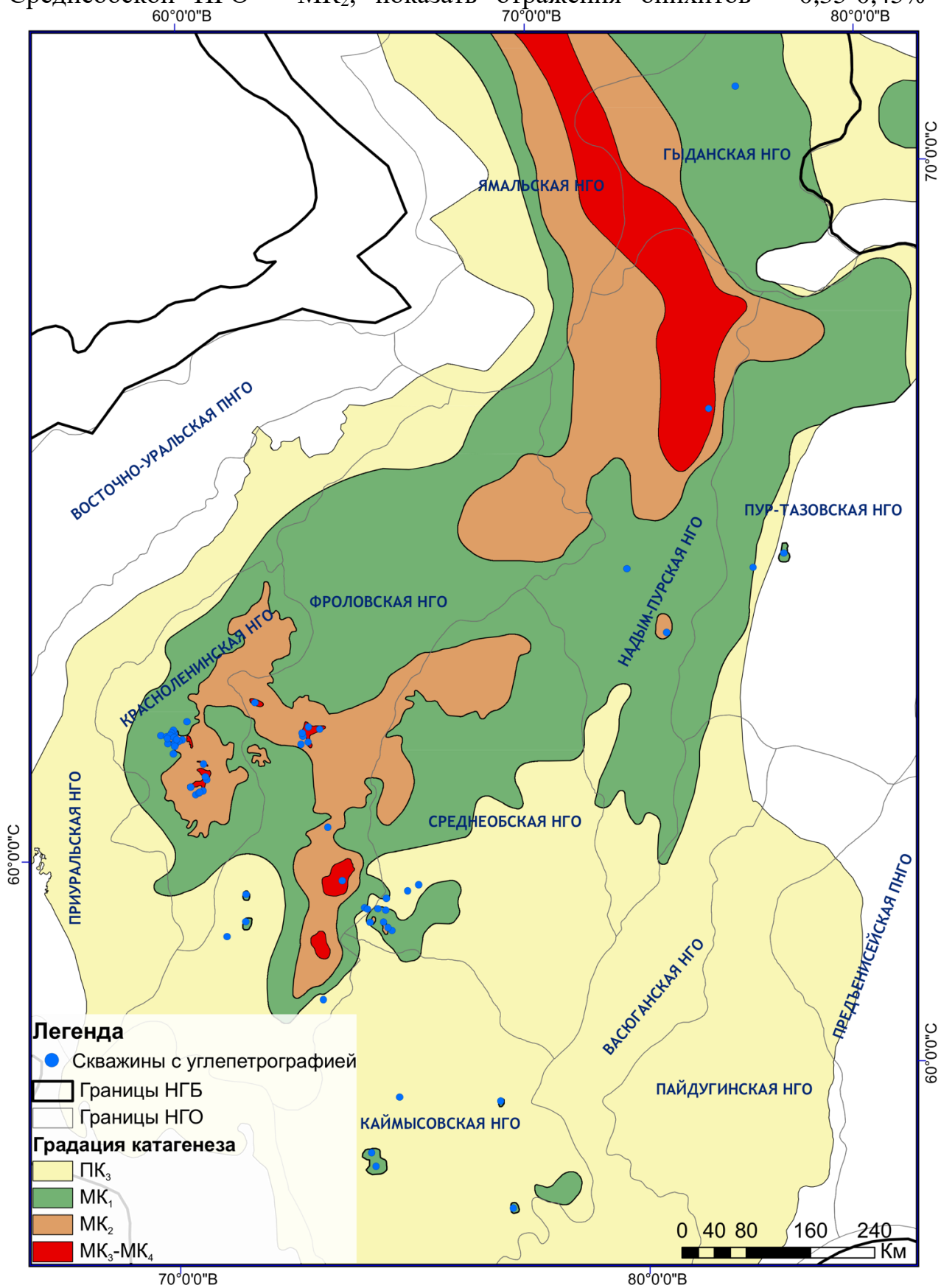


Рисунок 15).

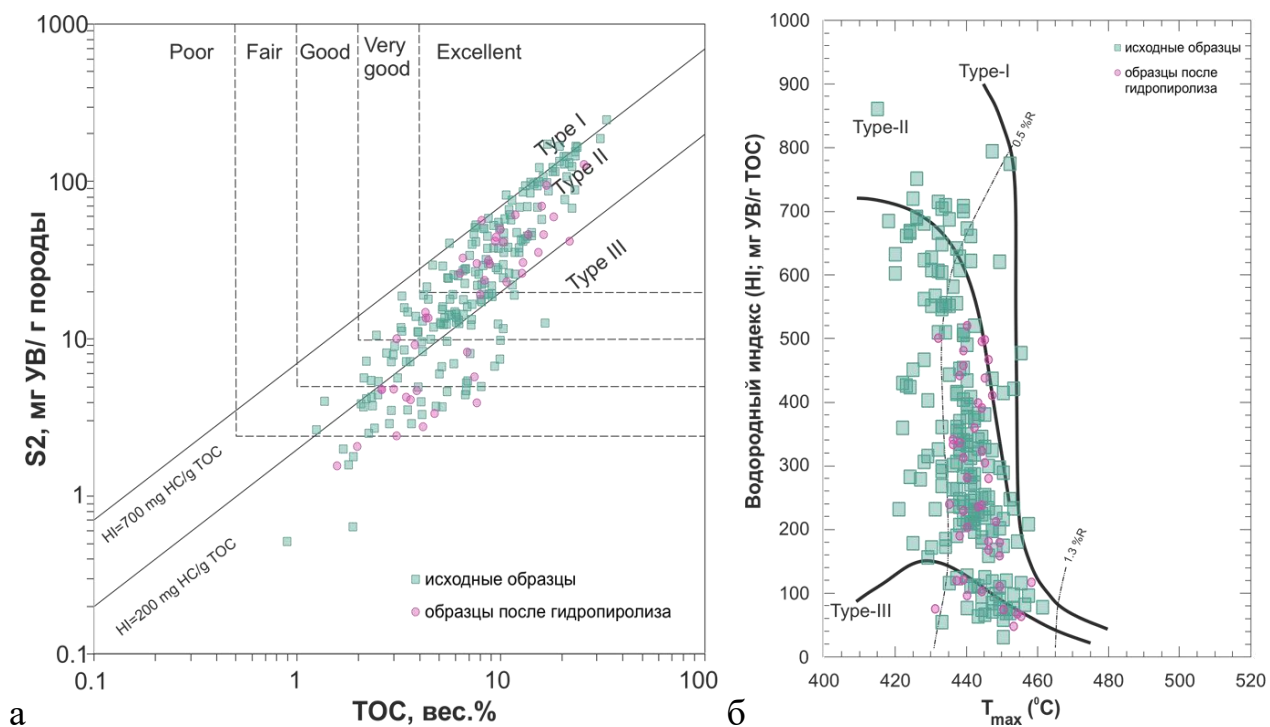


Рисунок 14 – а: Диаграмма S₂–ТОС, б: диаграмма HI–T_{max} для естественных образцов и образцов после гидропиролиза БВУФ

Полученные результаты подтверждают, что надёжная оценка зрелости органического вещества баженовской высокоуглеродистой формации возможна только при комплексном использовании пиролитических и углепетрографических методов с обязательным учётом мацерального состава. Таким образом, обосновано *третье защищаемое положение*.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выполнено комплексное исследование органического вещества баженовской высокоуглеродистой формации Западной Сибири, направленное на характеристику его мацерального состава, закономерностей преобразования и оценку степени катагенетической зрелости. Показано, что формация характеризуется выраженной неоднородностью, обусловленной условиями осадконакопления и исходным биоразнообразием, что отражается на составе органического вещества, представленного преимущественно мацералами группы липтинита водорослевого происхождения, среди которых доминирует альгинит и битуминит, а также зоокластами, прежде всего онихитами. Их количественные соотношения систематически изменяются по разрезу, определяя вариации генерационного потенциала.

Установлены закономерности трансформации основных мацералов (альгинита, битуминита и онихитов) в пределах главной зоны нефтеобразования, проявляющиеся в изменении оптических свойств: изменение цвета мацералов, интенсивности люминесценции, развитии вторичной пористости и формировании битумных пленок. Различия в поведении мацералов отражают их

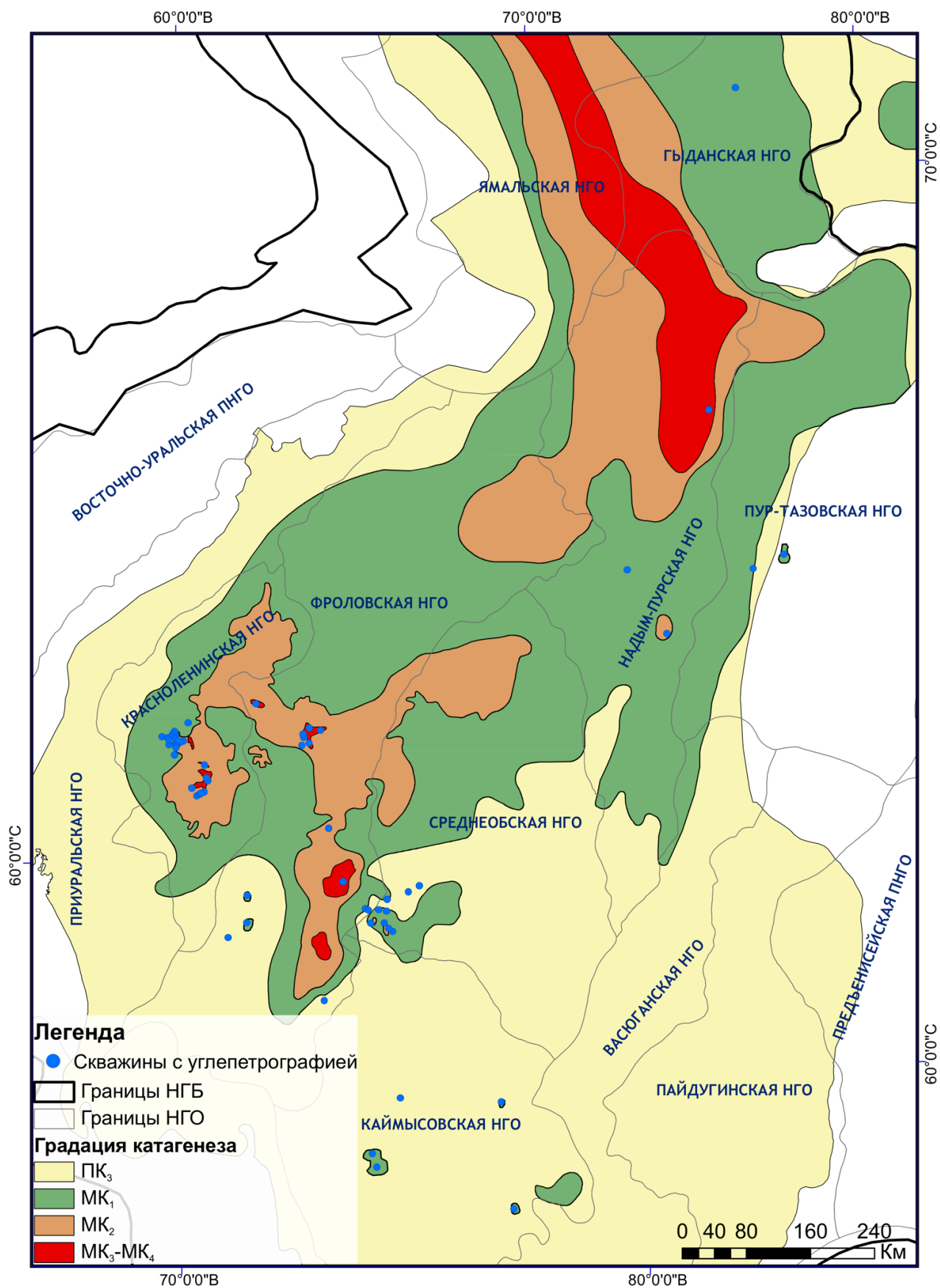


Рисунок 15 – Уточненная схема катагенеза по углепетрографическим данным (Калмыков и др., 2024 с изменениями)

исходную природу и чувствительность к процессу преобразования, при общем наборе диагностических признаков. Результаты гидропиролиза подтвердили

выявленные закономерности и показали, что лабораторное моделирование адекватно воспроизводит природные процессы преобразования органического вещества.

На основе пиролитических и углепетрографических данных установлено, что органическое вещество БВУФ относится ко II типу и находится в пределах главной зоны нефтеобразования (МК₁-МК₃). Пиролитические параметры (в первую очередь T_{max}) в условиях высокой неоднородности имеют ограниченную информативность и требуют обязательного сопоставления с данными органической петрологии.

Обоснована возможность использования показателя отражения битуминита и онихитов в качестве основных оптических индикаторов степени зрелости органического вещества. Установлена высокая корреляция между значениями R_V и R_{onh} , что позволяет рассматривать онихиты как альтернативный и независимый показатель зрелости, особенно в условиях ограниченного распространения битуминита.

Проведено уточнение схемы катагенеза органического вещества баженовской формации по углепетрографическим данным. Установлено, что основная часть территории соответствует грациям МК₁-МК₂, тогда как зоны повышенной зрелости (МК₃) приурочены к тектонически активным участкам и, вероятно, связаны с гидротермальными процессами.

Таким образом, надёжная оценка состава и степени катагенетической преобразованности органического вещества баженовской формации возможна только при комплексировании углепетрографических и пиролитических методов. Полученные результаты уточняют представления о закономерностях нефтегенерации в высокоуглеродистых толщах и могут быть использованы при дальнейшем изучении и освоении ресурсов не только баженовской свиты и её возрастных аналогов, но и других нефтегазоматеринских толщ (доманиковский горизонт, куонамская и хадумская свиты).

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю Наталии Владимировне Прониной за постоянную поддержку, внимательное руководство и переданный профессиональный опыт; А.Х. Богомолу — за содействие в принятии решения о начале исследования в области углепетрографии; Д.В. Митронову — за знания и консультации. Автор благодарит Е.Ю. Макарову и М.А. Большакову за помощь при подготовке работы, Г.А. Калмыкова — за предоставленный керновый материал, А.Г. Калмыкова и Г.Г. Савостина — за проведение геохимических исследований и сотрудничество, А.В. Мордасову — за рекомендации по оформлению графических материалов. Особая признательность выражается заведующей кафедрой А.В. Ступаковой за организационную поддержку и содействие завершению работы, а также коллективу кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых и всем коллегам за научное взаимодействие и поддержку на всех этапах исследования. Отдельная благодарность выражается семье за всестороннюю поддержку.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

**Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях,
рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ
по специальности и отрасли наук**

1. Bulatov T., Kozlova E., Leushina E., **Vaitekhovich A.**, Pronina N., Goncharova A., Kul'kov M., Salakhidinova G., Butyrin R., Bashanova A., Torshina L., Spasennykh M. Source rock potential and depositional environments of the Jurassic and Cretaceous coals from the Gyda Peninsula, Western Siberia // International Journal of Coal Geology. 2025. vol. 305. 104789. EDN: ETMARH. Импакт-фактор 5,7 (JIF); 1,438 п.л.; авторский вклад 20%.
2. Андреев Б., Козлова Е.В., Булатов Т.Д., Карамов Т.И., Леушина Е.А., Широкова В.В., Бажанова А.Е., **Вайтехович А.П.**, Пронина Н.В., Дударев В.В., Колесов В.В., Спасенных М.Ю. Идентификация очага низкотемпературной генерации углеводородов на южной периферии Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. 2025. Т. 27. № 4. С. 192–215. EDN: СНРJJС. Импакт-фактор 1,180 (РИНЦ); 1,500 п.л.; авторский вклад 15%.
3. Савостин Г.Г., Калмыков А.Г., **Вайтехович А.П.**, Пронина Н.В., Грязнова Д.А., Марунова Д.А., Калмыков Г.А. Изменение характеристик керогена и минеральной матрицы пород баженовских отложений при лабораторном моделировании гидротермальных процессов // Георесурсы. 2024. Т. 26. № 3. С. 206–219. EDN: ОЕХВНМ. Импакт-фактор 1,180 (РИНЦ); 0,875 п.л.; авторский вклад 30%.
4. Марунова Д.А., Пронина Н.В., Калмыков А.Г., Иванова Д.А., Савостин Г.Г., **Вайтехович А.П.**, Калмыков Г.А. Эволюция биокластов при катагенезе в породах баженовского горизонта на территории Фроловской нефтегазоносной области // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2023. № 5. С. 87–95. EDN: JXXDZK. Импакт-фактор 0,288 (РИНЦ); 0,563 п.л.; авторский вклад 15%.
5. Пронина Н.В., **Вайтехович А.П.**, Калмыков А.Г., Марунова Д.А. Значение определений мацералов для понимания и изучения процессов трансформации органического вещества нефтематеринских пород // Георесурсы. 2022. Т. 24. № 2. С. 29–35. EDN: ХЕКУDХ. Импакт-фактор 1,180 (РИНЦ); 0,438 п.л.; авторский вклад 65%.
6. Пронина Н.В., **Вайтехович А.П.** Прямые признаки нефтеобразования в породах баженовской свиты // Георесурсы. 2021. Т. 23. № 2. С. 152–157. EDN: ЕНХJNT. Импакт-фактор 1,180 (РИНЦ); 0,375 п.л.; авторский вклад 80%.