

УДК 552.08, 553.983

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-5-87-95

ЭВОЛЮЦИЯ БИОКЛАСТОВ В ПРОЦЕССЕ КАТАГЕНЕЗА В ПОРОДАХ БАЖЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА НА ТЕРРИТОРИИ ФРОЛОВСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Дарья Андреевна Марунова¹✉, Наталия Владимировна Пронина²,
Антон Георгиевич Калмыков³, Дарья Андреевна Иванова⁴,
Григорий Геннадьевич Савостин⁵, Анастасия Петровна Вайтехович⁶,
Георгий Александрович Калмыков⁷

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; d_marunova@mail.ru✉, <https://orcid.org/0009-0000-0894-2201>

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nvproncl@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0266-4934>

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; a.kalmykov@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8862-8227>

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; d.ivanova@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1225-4919>

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; g.savostin@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1090-1842>

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nastyavait@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3499-6007>

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; gera64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8274-3622>

Аннотация. В статье приведены результаты исследований органического вещества пород баженовского горизонта на территории Фроловской нефтегазоносной области Западно-Сибирского бассейна. Мацеральный состав изучаемых отложений представлен битуминитом и альгинитом, переотложенным витринитом, а также биокластами: онихитами и органическим веществом кальцесфер. Исследование посвящено изучению биокластов. Описаны их углпетрографические характеристики, изменение в процессе катагенеза, установлены качественные характеристики оценки степени зрелости по биокластам, а также предложена начальная формула пересчета показателя отражения онихитов на эквивалент витринита.

Ключевые слова: баженовский горизонт, углпетрография, органическое вещество, мацеральный состав, биокласты, онихиты, кальцесферы, катагенетическое преобразование, лабораторное моделирование преобразования керогена

Для цитирования: 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 // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 5. С. 87–95.

EVOLUTION OF BIOCLASTS DURING CATAGENESIS IN ROCKS OF BAZHENOV FORMATION ON THE TERRITORY OF THE FROLOV OIL AND GAS REGION

Darya A. Marunova¹✉, Natalya V. Pronina², Anton G. Kalmykov³, Darya A. Ivanova⁴,
Grigoriy G. Savostin⁵, Anastasiya P. Vaitechovich⁶, Georgiy A. Kalmykov⁷

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; d_marunova@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-8862-8227>

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nvproncl@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0266-4934>

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; a.kalmykov@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8862-8227>

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; d.ivanova@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1225-4919>

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; g.savostin@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1090-1842>

⁶ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nastyavait@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3499-6007>

⁷ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; gera64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8274-3622>

Abstract. The paper presents the results of the Bazhenov formation rocks organic matter on the territory of the Frolov oil and gas region of the West Siberian basin investigations. The maceral composition of the sediments is represented by bituminite and alginite, removed vitrinite, as well as bioclasts: onychites and calcespheres organic matter. The investigation is focused on bioclasts. The petrographic characteristics, their change in the process of maturation evolution are described, qualitative parameters to access the degree of bioclasts maturity are established,

and the initial formula for converting the onychites reflection index to the equivalent of vitrinite reflection index is proposed.

Keywords: Bazhenov sediments, coal petrography, organic matter, maceral composition, bituminite, onychites, calcespheres, catagenetic transformation, laboratory modeling of kerogen transformation

For citation: Marunova D.A., Pronina N.V., Kalmykov A.G., Ivanova D.A., Savostin G.G., Vaitekhovich A.P., Kalmykov G.A. Evolution of bioclasts during catagenesis in rocks of Bazhenov formation on the territory of the Frolov oil and gas region. *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 5: 87–95. (In Russ.).

Введение. Изучением органического вещества (ОВ) баженовской высокоуглеродистой формации занимались многие исследователи на протяжении более 50 лет [Конторович и др., 1975; Вассоевич, 1979; Брэдучан и др., 1986; Гончаров и др., 2004; Гурари и др., 2005; Козлова и др., 2015; Пронина, 2021]. В настоящее время в связи с усовершенствованием технологий и получением новой информации большое внимание стали уделять не только общим характеристикам пород, но и более детальному изучению строения и состава отдельных компонентов. Среди таких работ можно выделить исследования мацерального состава органического вещества отложений (элементарных единиц, устанавливаемых под микроскопом и имеющих конкретные морфологические-диагностические признаки). Установлено, что этот состав очень неоднороден [Калмыков и др., 2017; Калмыков и др., 2019; Топчий и др., 2019; Пронина и др., 2022], мацералы преобразуются в процессе катагенеза не синхронно [Марунова и др., 2021]. Кроме основных нефтепродуцирующих мацералов группы липтинита (битуминит и альгинит) в отложениях формации выделено также органическое вещество различных планктонных микроорганизмов: радиолярий, кальцесфер и онихитов [Вайтехович и др., 2022]. Остается актуальным изучение процессов преобразования отдельных мацералов, оценка их генерационной способности (количественные характеристики способности генерировать нефть и газ), кинетических спектров, выявление зависимостей между показателями отражения отдельных мацералов, выделение прослоев, обогащенных определенными микроэлементами ОВ по территории и разрезу. В результате определения перечисленных характеристик станет возможным уточнение уже существующих, а также построение новых бассейновых моделей с большей степенью достоверности получаемых результатов, что является важной и актуальной задачей для повышения успешности поиска скоплений углеводородов на территории Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Целью данной статьи является изучение мацерального состава органического вещества баженовского горизонта, выявление уникальных прослоев биокластов в породах баженовского горизонта на территории Фроловской нефтегазоносной области и установление особенностей преобразования органического вещества биокластов в катагенезе.

Материалы и методы исследований. Исследуемые образцы. Объектом исследования стало

ОВ из разреза пород баженовского горизонта из 35 скважин на территории Фроловской нефтегазоносной области. Для определения пиролитических характеристик ОВ исследовано около 2000 образцов, полностью характеризующих изучаемый разрез. Для изучения мацерального состава по результатам пиролиза выбрано 130 образцов пород. Лабораторное моделирование преобразования мацералов выполнено на 22 образцах, для которых проведены углепетрографические исследования.

Методики исследования. Для определения характеристик ОВ на первом этапе образцы пород истирали до порошкообразного состояния и экстрагировали хлороформом (ХЧ) в аппарате Сокслета. Экстракция заканчивалась при достижении в растворе в охлажденном аппарате значений концентрации раствора $\leq 0,000625\%$ битумоида (3 балла).

Содержание ОВ, его тип, зрелость и нефтегенерационный потенциал в образцах определяли методом пиролиза на приборе HAWK. Пиролиз выполняли по стандартной методике, подробно описанной, например, в работах [Espitalie et al., 1993; Лопатин и др., 1987].

Углепетрографические исследования проводили на установке QD1302 (Craic Technologies) согласно ГОСТам: 9414.2-93 (Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Ч. 2: метод подготовки образцов); 9414.3-93 (Методы петрографического анализа углей. Ч. 5: метод определения показателя отражения витринита с помощью микроскопа); 12113-94 (Угли бурые, каменные, антрациты, твердые рассеянные органические вещества). Метод определения показателей отражения соответствует международному стандарту ISO 7404-5. Исследования включали описание аншлифов, замеры показателя отражения согласно ГОСТам 12113-94 и ISO 7404-5 в масле с объективом x50 и эталоном Yttrium-Aluminium (RV 0,905%) или Spinel (RV 0,426%), а также изучение образцов в ультрафиолетовом свете.

Для изучения дальнейшего преобразования мацералов выполнен эксперимент по лабораторному моделированию преобразования ОВ. Эксперимент проводился на 22 образцах (диаметр 30 мм, высота варьировала от 7 до 15 мм), которые помещали в автоклавы, добавляли дистиллированную воду в объеме, позволяющем при условиях эксперимента достигать пластового давления (30 МПа), после чего образцы прогревали при температуре 350 °С в течение 12 часов. После прогрева автоклавы охлаждали до комнатной температуры, извлекали образцы, вы-

сушивали и передавали на изготовление аншлифов и изучение мацерального состава. Часть образца истирали в порошок, на котором проводили пиролитические исследования.

Результаты исследований и их обсуждение.

Исследования показали распределение ОВ в разрезе баженовских отложений. На изучаемой территории встречаются мацералы группы витринита и липтинита, биокласты, а также жидкие продукты преобразования мацералов: битумы и битумные пленки (В).

Витринит в отложениях встречается редко, является привнесенным. Из мацералов группы липтинита в баженовской формации встречается битуминит и альгинит. Они являются основным нефтегенерирующим органическим веществом. По их количеству в образцах можно судить о материнском потенциале пород. Детальное описание мацераллов группы липтинита и витринита проводилось авторами ранее [Марунова и др., 2021; Пронина и др., 2022; Вайтехович и др., 2022], поэтому в данной статье акцент сделан на изучении органического вещества биокластов: онихитов и кальцесфер.

Онихиты (Onh). Ранее онихиты назывались некоторыми исследователями «атипичным» битуминитом, так как генезис фрагментов не был установлен, а по углепетрографическим характеристикам ОВ похоже на битуминит. Онихиты часто встречаются в отложениях формации. Представляют собой крупные, удлинённые фрагменты серого в отраженном свете органического вещества, имеющие зональную люминесценцию в ультрафиолетовом свете.

По онихитам можно замерять показатель отражения, однако в настоящее время считается, что он будет только качественно характеризовать зрелость ОВ, так как еще не выведено формулы пересчета его показателя отражения на показатель отражения витринита. Так как зерна мацерала крупные, присутствуют в образцах в большом количестве во всей главной зоне нефтеобразования, а характер их изменения в катагенезе предположительно схож с витринитом, актуальна разработка формулы пересчета их показателя отражения на значение эквивалент витринита.

Во Фроловской области онихиты встречены практически во всех образцах. На месторождениях, где градация катагенеза определяется как МК1-МК2, зерна мацерала представлены серым в отраженном цвете догенерационным веществом, без вторичной пористости и трещиноватости (рис. 1, а, в). Зональная люминесценция мацерала указывает на то, что «созревание» ОВ онихит начинается от краев зерна к центру. На месторождениях, где градация катагенеза определяется как МК3, зерна мацерала представлены светло-серым в отраженном свете ОВ (изменение цвета на более светлые оттенки вызвано обуглероживанием ОВ), могут быть трещиноватые или со вторичной пористостью. Сгенерированные мацералом битумы могут находиться внутри пор (рис. 1, б, г).

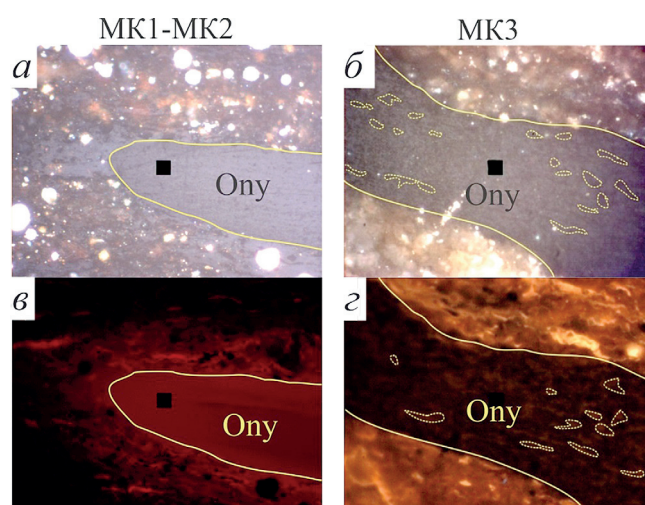


Рис. 1. Фотографии онихитов баженовского горизонта, находящиеся на разных степенях преобразованности, под люминесцентным микроскопом (а, в — простой отраженный свет; б, г — ультрафиолетовый свет)

Подобная вторичная пористость в зернах исходного органического вещества называется «керогеновой пористостью» и является одним из видов пористости нетрадиционных коллекторов баженовской свиты [Фомина и др., 2021]. Для ОВ онихитов подобная пористость появляется при достижении мацералом градации катагенеза МК3. Полученные результаты углепетрографических исследований можно сопоставить с исследованиями методом растровой электронной микроскопии [Калмыков и др., 2019]. Метод не позволяет выделить конкретные мацералы среди ОВ образца, однако рис. 2 иллюстрирует одинаковые виды керогеновой пористости, исследованные двумя разными методами.

Стоит отметить, что внутри одного образца может встречаться несколько разновидностей онихитов. Рядом с темно-серыми крупными, удлинёнными зернами (dark onh) могут лежать светло-серые такие же по форме зерна (light onh). Показатель отражения таких зерен различается (у светло-серых он выше), в результате чего в образце получается два пика распределения показателя отражения (рис. 3). Наличие в образцах двух вариаций мацерала может быть связано с разной степенью преобразованности фрагментов, что довольно сложно объяснить, так как расстояние между зернами может быть достаточно маленьким (около 10 нм), либо же фрагменты могут сливаться, накладываться или примыкать друг к другу. Можно предположить, что минеральное «окружение» зерен ОВ может выступать в качестве катализатора или ингибитора созревания ОВ, однако данный вопрос неоднозначен и требует проведения дополнительных исследований. Другим объяснением может стать разный генезис фрагментов. Так как внутри одного зерна онихита наблюдаются «зоны» с разной флуоресценцией, цветом и показателем отражения, фрагменты могут быть разными частями онихита, ввиду своего разного генезиса, преобра-

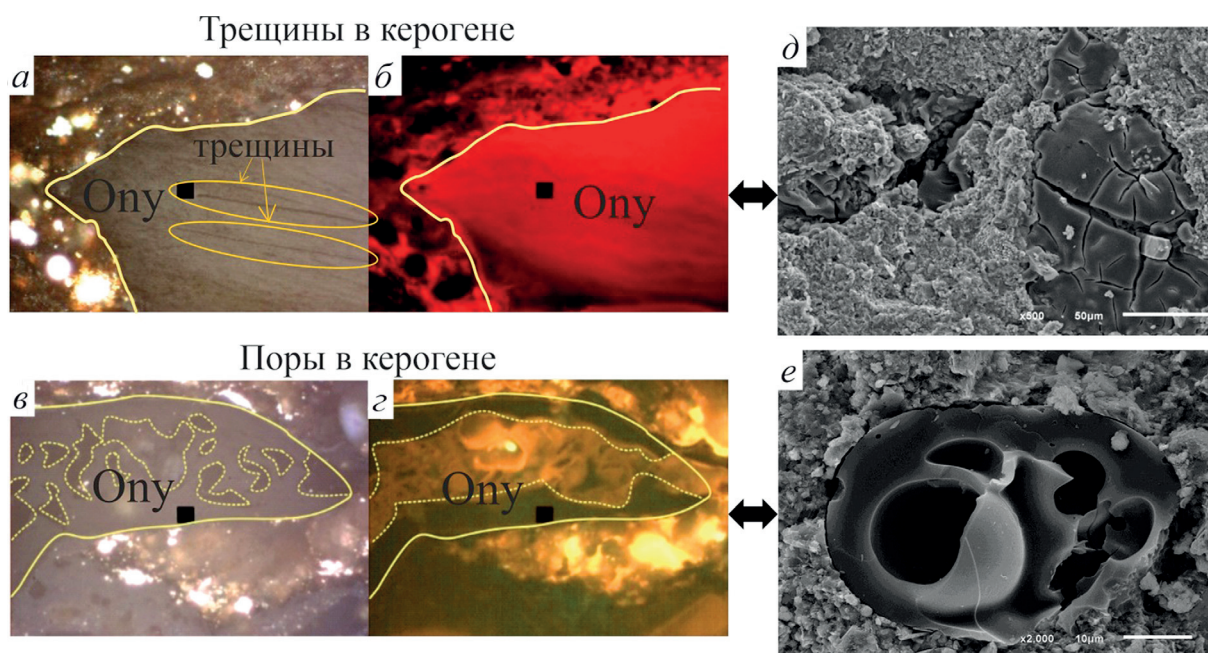


Рис. 2. Виды вторичной пористости в органическом веществе (фотографии под люминесцентным микроскопом *а, в* — простой отраженный свет; *б, г* — ультрафиолетовый свет; *д, е* — микрофотографии, сделанные под растровым электронным микроскопом [Калмыков и др., 2019])

зующимися по-разному. Эта теория также требует дополнительных исследований, а также привлечения специалистов из разных сфер, например, палеонтологии и микробиологии.

Остатки органического вещества кальцесфер (Cal) встречаются в отложениях формации редко. Наиболее распространены в верхней части разреза в наиболее карбонатизированном интервале. Во всей главной зоне нефтеобразования представлены круглыми образованиями, центральная часть которых заполнена серым ОВ, а внешняя окружность представляет собой остатки минерального скелета

организмов. Люминесценция в ультрафиолетовом свете отсутствует. Обычно по ОВ кальцесфер не измеряют показатель отражения, так как замеров может быть недостаточно для сбора статистики. Также не существует формулы пересчета значений отражательной способности на эквивалентные значения для витринита.

Мацеральный состав ОВ баженковского горизонта Фроловской нефтегазоносной области одинаков: преобладает битуминит, составляющий основную массу ОВ, также повсеместно встречаются онихиты; алигинит и органическое вещество кальцесфер присутствуют в виде единичных фрагментов. Стоит отметить, что соотношение мацералов в прослоях и по площади может существенно варьировать. Например, выделяется ряд уникальных прослоев ОВ определенного мацерального состава: уникальный прослой альгинита в четвертой пачке горизонта, подробно описанный в работе Т.Д. Булатова с соавторами [2021], а также прослой биокластов: прослой онихитов и органического вещества кальцесфер. Разбиение горизонта на пачки и их детальное описание сделано в работах Калмыкова Г.А. и Балускиной Н.С. [2017], Панченко И.В. с соавторами [2016]. В данной статье используются их результаты исследований.

Прослой онихитов выделяется в одной скважине на Южно-Эргинском месторождении в четвертой пачке баженовской свиты (рис. 4). Большое количество онихитов распределено по всему образцу, поверхность которого имеет размер $\sim 1,5 \times 1$ см. Зерна мацерала с зональной слабой флуоресценцией, удлиненные, очень крупные, темно-серого цвета в отраженном свете. Другие мацералы в прослое отсутствуют.

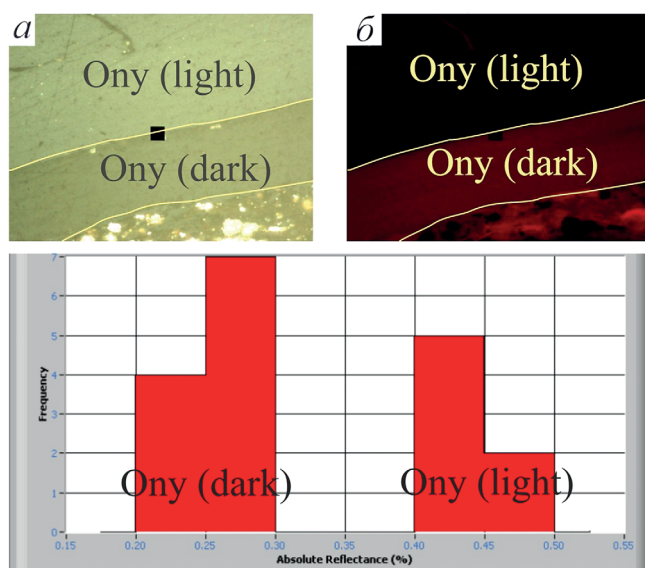


Рис. 3. Фотографии разновидностей онихитов и распределение показателей отражения внутри мацерала под люминесцентным микроскопом (*а* — простой отраженный свет; *б* — ультрафиолетовый свет)

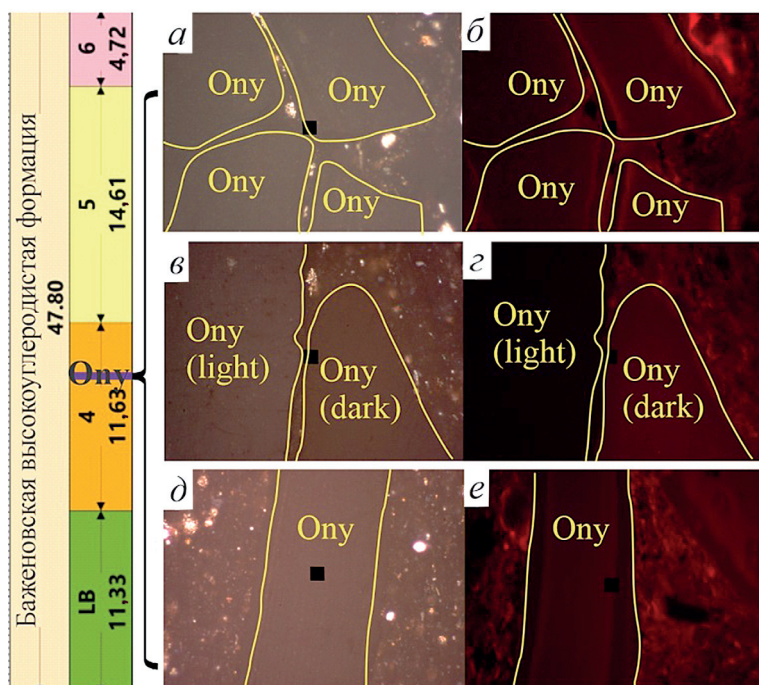


Рис. 4. Фотографии под люминесцентным микроскопом и положение в разрезе баженовской свиты уникальных прослоев онихитов (а, в, д — простой отраженный свет; б, г, е — ультрафиолетовый свет)

Прослой органического вещества кальцесфер выделяется в трех скважинах на территории Ем-Еговского месторождения в пятой пачке горизонта (рис. 5), с повышенным содержанием карбонатного материала, относительно остального разреза формации. ОВ представлено исходным серым веществом, без вторичной пористости, иногда со слабой трещиноватостью.

Во всей главной зоне нефтеобразования ОВ кальцесфер представлено имеющим исходные углепетрографические характеристики веществом, у онихит на градациях МК3 появляется вторичная пористость, заполненная сгенерированными мацералом соединениями, и трещиноватость. Следовательно, качественно оценить степень зрелости по ОВ кальцесфер для градаций катагенеза МК1-МК3 невозможно, тогда как для онихит визуально возможно разделить границу между градациями МК2 и МК3. Витринит в отложениях баженовской формации практически не встречается, а при его наличии частиц слишком мало для статистически корректного определения отражательной способности. Битуминит практически полностью переходит в микринит на градациях катагенеза МК2. Поэтому актуально выявление качественных критериев оценки степени зрелости, а также, как уже было сказано ранее, выведение формулы пересчета отражательной способности наиболее «термостойкого» ОВ на эквивалентное значение для витринита. Таким ОВ являются онихиты и ОВ кальцесфер. С целью изучения преобразования данных мацералов на градациях катагенеза МК3 и выше был поставлен эксперимент по лабораторному моделированию созревания органического вещества в автоклавах.

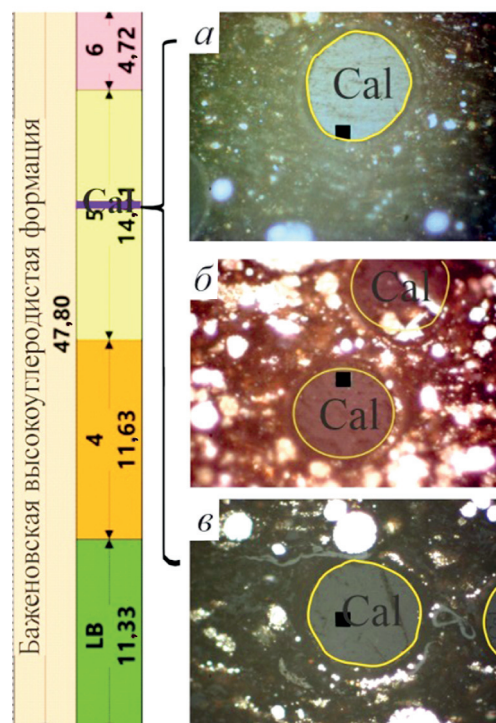


Рис. 5. Фотографии под люминесцентным микроскопом и положение в разрезе баженовской свиты уникальных ОВ кальцесфер (а, б, в — простой отраженный свет)

Изменение мацералов в результате лабораторного моделирования созревания органического вещества. В результате эксперимента удалось установить, что изменения, произошедшие с мацералами после гидротермального воздействия, идентичны изменениям, происходящим в реальных геологических условиях. Так, например, рис. 6 показывает, что в исходном и прогретом образцах, ОВ которых имеет одинаковую степень преобразованности, онихиты представлены крупными серыми зернами, с неровными контурами и вторичной пористостью и трещиноватостью, зональная люминесценция отсутствует. Наблюдаемый по контуру зерна битум в прогретом образце имеет более яркую люминесценцию в ультрафиолетовом свете, что может указывать на генерацию более легких углеводородных соединений, которые в пласте мигрируют в зоны повышенной пористости. Изменения, подобные природным, наблюдаются также и с другими мацералами гидротермально прогретых образцов: альгинитом, битуминитом и ОВ кальцесфер.

Ярко выраженные изменения с ОВ онихитов происходят на поздних градациях катагенеза ($TR > 90\%$, МК4 и выше). У зерен гидротермально прогретого мацерала наблюдается внутренняя структура, представленная зонами более светлого цвета (более преобразованные, обуглероженные). Зоны могут выделяться как внутри зерна, в виде удлинённых фрагментов (рис. 7, в, г), так и в виде «каемки» по контуру зерна (рис. 7, а, б). Встречаются также фрагменты, практически полностью представ-

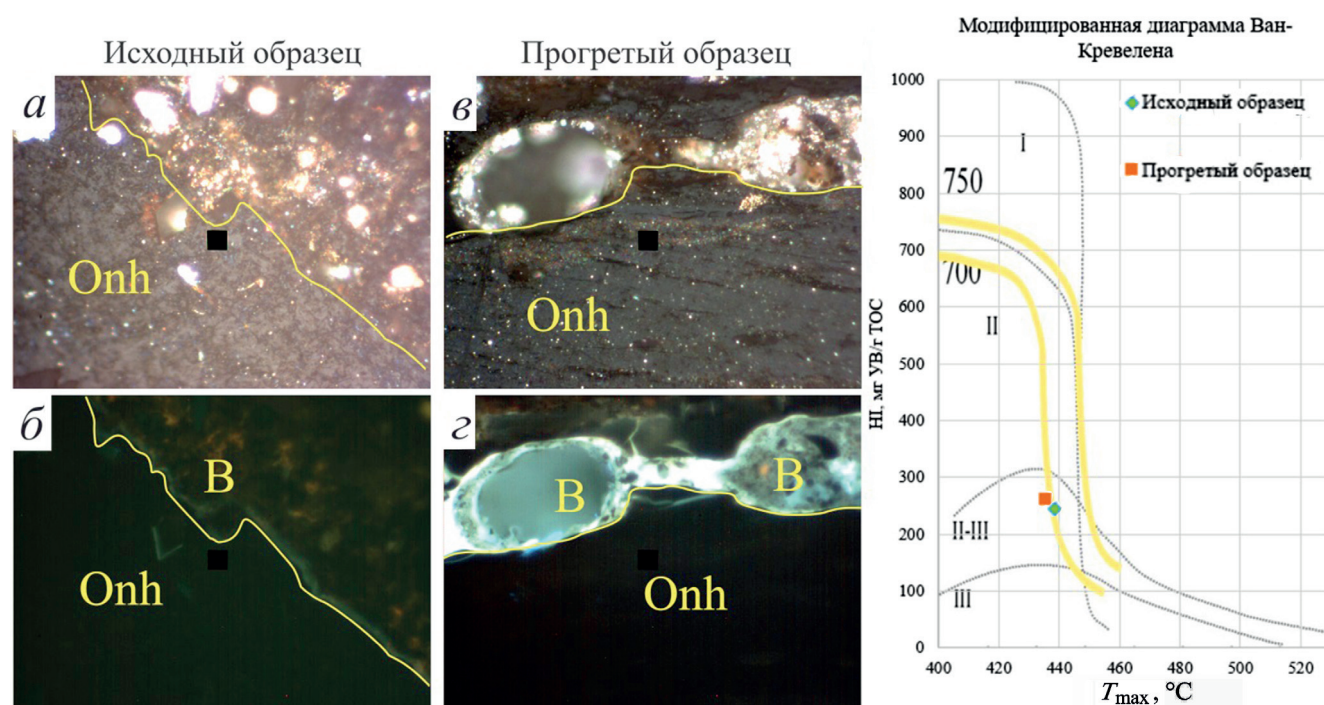


Рис. 6. Фотографии под люминесцентным микроскопом онихитов до и после гидротермального моделирования созревания ОБ (а, в — простой отраженный свет; б, г — ультрафиолетовый свет)

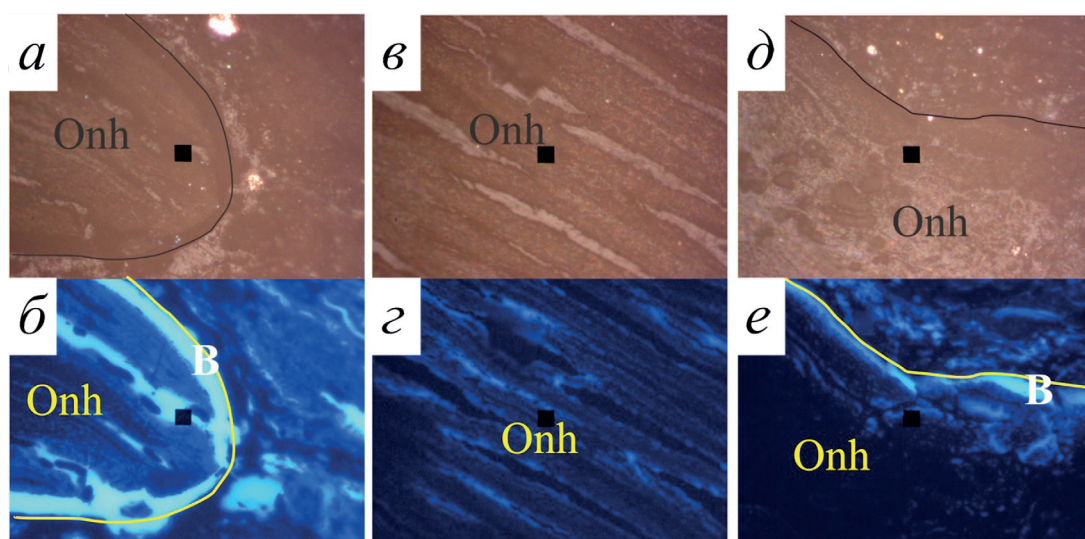


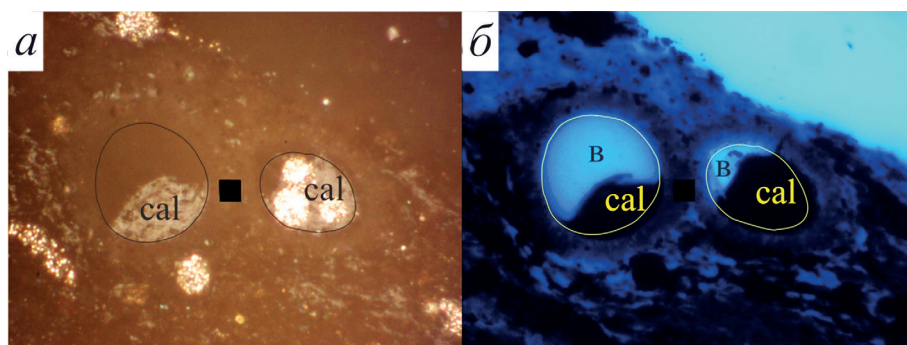
Рис. 7. Фотографии под люминесцентным микроскопом онихитов после температурного воздействия (а, в, д — простой отраженный свет; б, г, е — ультрафиолетовый свет)

ленные светло-серым обуглероженным ОБ (рис. 7, д, е). Во всех фрагментах отмечается вторичная пористость. Наблюдается изменение цвета мацерала на более светлые оттенки в отраженном свете. В ультрафиолетовом свете появляется яркая голубая флуоресценция УВ соединений, заполняющих поры внутри и по контуру зерна.

Полученные результаты показали, что отдельные зерна онихитов преобразуются по-разному. Есть несколько предположений относительно данных результатов. Во-первых, генезис онихитов не установлен однозначно, также выделяется несколько разновидностей мацерала: темные (dark onh) и светлые (light onh) онихиты, о которых

говорилось ранее, встречаются зерна округлой и вытянутой формы. Соответственно, исходное вещество для зерен мацерала может быть разным, и по этой причине процессы преобразования будут идти по-разному. В одном случае будет появляться внутренняя структура в виде более преобразованных вытянутых фрагментов, в другом случае преобразование будет более выраженным на «каемке» вокруг зерна, в третьем случае пористость будет появляться внутри зерен мацерала. Во-вторых, минеральная матрица породы на контакте с ОБ может влиять на его преобразование, выступая в роли катализатора (например, пирит) или ингибитора (например, карбонаты) процессов созревания. Ве-

Рис. 8. Фотографии под люминесцентным микроскопом ОВ кальцесфер после температурного воздействия (а — простой отраженный свет; б — ультрафиолетовый свет)



роятнее всего, на процесс оказывают влияние оба приведенных фактора.

Преобразование ОВ кальцесфер, также как и онихитов, происходит после главной зоны нефтеобразования ($TR > 90\%$, МК4 и выше). В образцах до эксперимента ОВ кальцесфер встречается только с исходными углепетрографическими характеристиками, представленное серым веществом, расположенным внутри минерального скелета организма. После прогрева внутри скелета уменьшается доля исходного вещества, образуются крупные поры, заполненные новообразованными УВ соединениями, ярко люминесцирующими в УФ свете (рис. 8). В образцах до гидротермального воздействия внутри ОВ кальцесфер битумы не были зафиксированы.

Эксперимент по лабораторному моделированию созревания ОВ позволил проследить преобразование онихит и ОВ кальцесфер. Наиболее выраженные изменения наблюдаются в мацералах после выхода ОВ из главной зоны нефтеобразования. Появление вторичной пористости и трещиноватости для онихитов является признаком нахождения мацерала на градации катагенеза МК3. Появление внутренней

структуры внутри зерен, битумов по контуру и в порах, изменение цвета в отраженном свете на светло-серые тона являются признаками нахождения ОВ на градации катагенеза МК4. Для ОВ кальцесфер признаком градации катагенеза МК4 является появление пор внутри ОВ, которые могут быть заполнены углеводородными соединениями, удерживаемыми минеральным скелетом организма. На более ранних градациях катагенеза даже качественная оценка степени зрелости по кальцесферам невозможна.

Количественным параметром степени зрелости при изучении ОВ углепетрографическим методом является показатель отражения мацералов. Как было сказано ранее, витринит в отложениях баженовской свиты встречается крайне редко, а по битуминиту не всегда возможно проводить замеры показателя отражения (особенно на градации катагенеза выше МК2), поэтому еще одной задачей в рамках данной работы было получение формулы пересчета показателя отражения онихитов на эквивалентное значение витринита. В распоряжении авторов было три уникальных образца баженовской свиты, содержащих линзы угля и баженовские от-

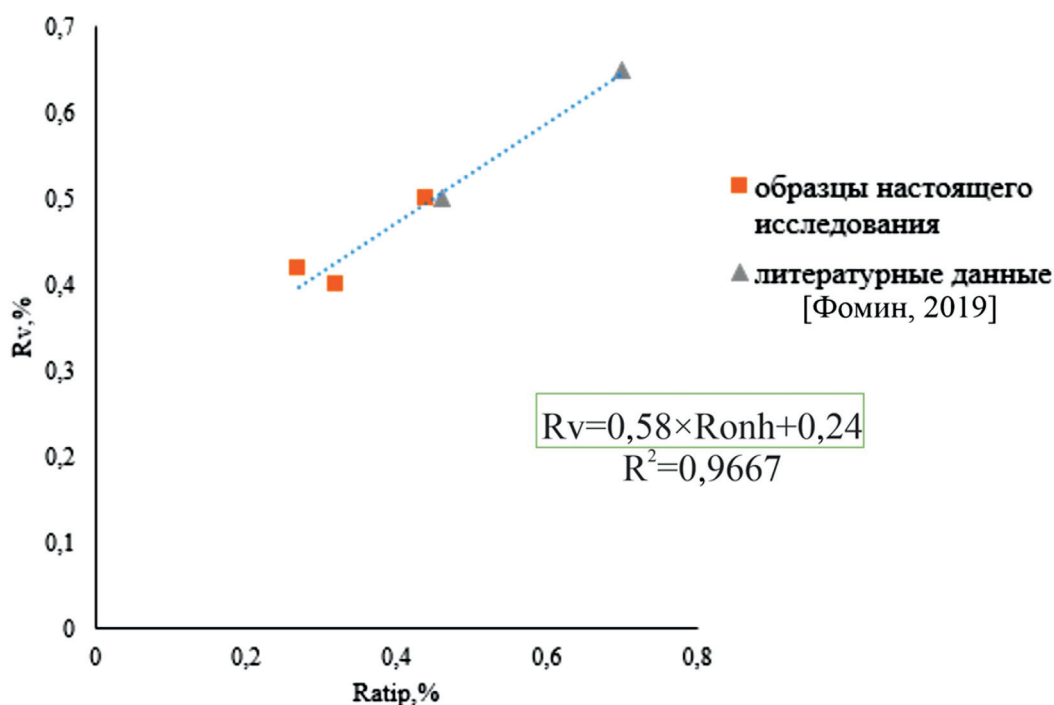


Рис. 9. Корреляция показателей отражения онихитов и витринита

ложения с онихитами. В результате исследований, а также по литературным данным [Фомин, 2019] была получена зависимость показателя отражения онихитов и витринита (рис. 9). Зависимость имеет вид: $R_v = 0,58 \times R_{onh} + 0,24$. Стоит отметить, что полученная формула является предварительной, исследования находятся на начальном этапе. Необходимо собрать более представительную коллекцию, дополнить результаты и скорректировать получаемое уравнение. Также важно проследить изменения в онихитах разной природы, установить признаки, позволяющие различить их в случаях, когда в породе встречен только один тип онихитов, выявить зависимость между значениями отражательной способности для разных онихитов. Обобщение данных, полученных разными исследователями, позволило бы существенно продвинуться в данном вопросе.

Заключение. Полученные результаты иллюстрируют, как преобразуются онихиты и ОВ кальцесфер в процессе катагенеза. Установлено, что ОВ баженновской высокоуглеродистой формации представлено преимущественно битуминитом, повсеместно встречаются онихиты, в виде единичных включений альгинит и ОВ кальцесфер. Выделены уникальные прослои концентрированного органического вещества определенного мацерального состава, а именно: прослой онихитов в четвертой пачке свиты на Южно-Эргинском месторождении и прослой ОВ кальцесфер в пятой пачке на Ем-Говском месторождении.

В результате моделирования созревания ОВ установлено, каким образом изменяются биокласты на высоких грациях катагенеза, предложены качественные признаки определения степени зрелости по онихитам и ОВ кальцесфер. Также предположена

начальная формула пересчета показателя отражения онихитов на эквивалентные значения витринита, что является количественной характеристикой степени зрелости органического вещества.

Стоит отметить, что исследования биокластов в отложениях баженновской формации стали актуальны только с недавнего времени. Перед исследователями стоит ряд нерешенных задач, таких как определение кинетических спектров отдельных мацералов для более детального и корректного построения бассейновых моделей, установление количества и состава углеводородных соединений, генерируемых отдельными мацералами, уточнение формулы пересчета показателя отражения онихитов на эквивалентные значения витринита, и многие другие.

Важно обратить внимание, что согласно предыдущим исследованиям [Марунова и др., 2021; Пронина и др., 2022; Вайтехович и др., 2022] определенный в баженновском горизонте Фроловской области мацеральный состав не будет существенно отличаться от мацерального состава баженновской свиты практически на всей территории ее распространения. Можно говорить о том, что изменения мацералов в ходе катагенетического преобразования будут протекать по тем же механизмам. Следовательно, предлагаемая формула оценки эквивалентного значения отражательной способности витринита по отражательной способности онихитов и качественные критерии зрелости органического вещества могут быть применены на более широкой территории. Таким образом, работа имеет большое значение для оценки перспектив нефтегазоносности региона на основании степени преобразованности керогена и количества реализованного генерационного потенциала, построения более точных бассейновых моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность) // Тр. Ин-та геологии и геофизики. № 649. Новосибирск: Наука, 1986. С. 27–31.
2. Булатов Т.Д., Козлова Е.В., Леушина Е.А. и др. Кероген I типа в породах баженновской свиты Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 6. С. 110–119.
3. Вайтехович А.П., Пронина Н.В., Коточкова Ю.А. Онихиты в баженновском горизонте // Успехи органической геохимии. 2022. С. 35–37.
4. Вассоевич Н.Б., Тимофеев П.П. Нефтематеринские свиты и признаки их диагностики. М.: Наука, 1979. 264 с.
5. Гончаров И.В., Самойленко В.В., Обласов Н.В. и др. Молекулярные параметры катагенеза органического вещества пород баженновской свиты Томской области // Геология нефти и газа. 2004. № 5. С. 53–59.
6. Гурари Ф.Г., Девятов В.П., Демин В.И. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность нижней-средней юры Западно-Сибирской провинции. Новосибирск: Наука, 2005. 156 с.
7. Калмыков А.Г., Карнов Ю.А., Топчий М.С. и др. Влияние катагенетической зрелости на формирование

- коллекторов с органической пористостью в баженновской свите и особенности их распространения // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 2. С. 159–171.
8. Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженновской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. М.: ГЕОС, 2017. 247 с.
9. Козлова Е.В., Фадеева Н.П., Калмыков Г.А. и др. Технология исследования геохимических параметров органического вещества керогеносыщенных отложений (на примере баженновской свиты, Западная Сибирь) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 5. С. 44–53.
10. Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 680 с.
11. Лопатин Н.П., Емец Т.П. Пиролиз в нефтяной геологии. М.: Наука, 1987. 143 с.
12. Марунова Д.А., Пронина Н.В., Калмыков А.Г. и др. Стадии преобразованности органического вещества пород тутлеймской свиты в зависимости от его мацерального состава // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 6. С. 86–97.
13. Панченко И.В. и др. Стратификация и детальная корреляция баженновского горизонта в центральной части

Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС // Геология нефти и газа. 2016. № 6. С. 21–33.

14. Пронина Н.В., Вайтехович А.П. Прямые признаки нефтеобразования в породах баженской свиты // Георесурсы. 2021. Т. 23, № 2. С. 152–157.

15. Пронина Н.В., Вайтехович А.П., Калмыков А.Г. и др. Значение определений мацералов для понимания и изучения процессов трансформации органического вещества нефтематеринских пород // Георесурсы. 2022. Т. 24, № 2. С. 29–35.

16. Топчий М.С., Пронина Н.В., Калмыков А.Г. и др. Распределение органического вещества в породах баже-

новской высокоуглеродистой формации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 2. С. 46–57.

17. Фомин А.Н. Основы геологии и петрологии твердых горючих ископаемых: Учеб. пособие. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019.

18. Фомина М.М. и др. Выделение потенциально-продуктивных интервалов тутлеймской свиты центральной части Краснотенинского свода // Георесурсы. 2021. Т. 23, № 2. С. 132–141.

19. Espitalie J., Bordenave M.L. Rock-Eval pyrolysis // Appl. Petrol. Geochem. P: Technip ed., 1993. P. 237–361.

Статья поступила в редакцию 02.05.2023,
одобрена после рецензирования 12.06.2023,
принята к публикации 22.09.2023