

УДК 552.5:553.982(571.1)

Т.Д. Булатов¹, Е.В. Козлова², Н.В. Пронина³, Н.И. Коробова⁴, Е.А. Леушина⁵,
А.В. Воропаев⁶, И.В. Панченко⁷, Н.В. Морозов⁸, М.Ю. Спасенных⁹

КЕРОГЕН I ТИПА В ПОРОДАХ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА

Сколковский институт науки и технологий, Центр добычи углеводородов, 121205, Москва, Большой бульвар, 30, стр. 1
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Гидроизотоп ГМБХ (Германия), 85301, Швайтенкирхен, Велькештрассе, 9

ЗАО «МиМГО», 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, дом 21

ООО «Газпромнефть НТЦ», 190000, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75–79, литер Д

Skolkovo Institute of Science and Technology, Skoltech Center for Hydrocarbon Recovery,

121205, Moscow, Skolkovo, Bolshoy b., 30, bd. 1

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

HYDROISOTOP GmbH, 85301, Schweitenkirchen, Woelkestr. 9

ZAO "MiMGO", 111123, Moscow, Entusiastov st., 21

LLC "Gazpromneft STC", 190000, Saint-Petersburg, Moika River emb. 75–79, liter D

В породах баженовской свиты обнаружены тонкие люминесцирующие слои, обогащенные керогеном I типа, нетипичного для основной массы органического вещества баженовской свиты в центральной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Приведена детальная характеристика минеральной и органической части этих слоев, названных авторами альгинитовыми, рассматриваются варианты их формирования. Широкое распространение люминесцирующих альгинитовых слоев по площади в едином стратиграфическом диапазоне позволяет использовать их в качестве маркирующих горизонтов, а также для оценки термической зрелости керогена. Результаты исследований вносят вклад в понимание разнообразия процессов, формирующих высокоуглеродистые отложения баженовской свиты.

Ключевые слова: органическое вещество, кероген I типа, альгинитовые слои, люминесценция, пиролиз Rock-Eval, углепетрография, продукты пиролиза, изотопный состав.

The Bazhenov Formation rocks contain thin luminescent layers enriched in type I kerogen, which is unique for the bulk of the organic matter of the Bazhenov Formation of the West Siberian petroleum basin. The article provides a detailed characterization of the mineral and organic parts and proposed origin of these layers, called by the authors "alginite-rich layers". The wide distribution of the luminescent alginite-rich layers over the central part of Western Siberia in a single stratigraphic range allows them to be used as marking horizons, as well as for assessing the thermal maturity of kerogen. This study contributes to understanding the diversity of processes that form the organic-rich deposits of the Bazhenov Formation.

Keywords: organic matter, type I kerogen, alginite-rich layers, luminescence, Rock-Eval pyrolysis, organic petrography, pyrolysis products, isotope composition.

Введение. Изучению типов, состава, структуры и процессов трансформации органического вещества (ОВ) баженовской свиты посвящено множество работ, например [Конторович и др., 1975; Лопатин и Емец, 1987; Гончаров и др., 2016; Калмыков и др., 2019]. Традиционно кероген баженовской свиты относят к II типу, тем не менее до сих пор остаются

вопросы по поводу присутствия в породах баженовской свиты других типов керогена [Гончаров и др., 2016; Оксенойд и др., 2017; Конторович и др., 2019]. Кероген I типа представляет собой органическое вещество с высокими значениями атомного отношения водорода к углероду ($H/C > 1,5$) и низкими значениями атомного отношения кислорода к углероду ($O/C \approx 0,1$).

¹ Сколковский институт науки и технологий, Центр добычи углеводородов, аспирант; *e-mail:* timur.bulatov@skoltech.ru

² Сколковский институт науки и технологий, Центр добычи углеводородов, вед. науч. с.; *e-mail:* e.kozlova@skoltech.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, доцент; *e-mail:* nvproncl@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, ассистент; *e-mail:* nataliya.korobova54@mail.ru

⁵ Сколковский институт науки и технологий, Центр добычи углеводородов, ст. науч. с.; *e-mail:* e.leushina@skoltech.ru

⁶ Гидроизотоп ГМБХ, науч. с.; *e-mail:* av@hydroisotope.de

⁷ ЗАО «МиМГО», Сектор исследований продуктивности сланцевых формаций, заведующий; *e-mail:* panchenko@mimgo.ru

⁸ ООО «Газпромнефть НТЦ», эксперт; *e-mail:* morozov.nv@gazpromneft-ntc.ru

⁹ Сколковский институт науки и технологий, Центр добычи углеводородов, профессор; *e-mail:* m.spasennykh@skoltech.ru

Большинство отложений, содержащих кероген I типа, сформировалось в условиях значительного накопления водородослевого материала, подвергнувшегося микробиальной переработке в восстановительной среде [Tissot, Welte, 1984; Peters et al., 1993]. Несмотря на то что нефтематеринские отложения, содержащие кероген I типа, встречаются достаточно редко, они представляют интерес не только с точки зрения разработки углеводородов (УВ), но и для восстановления условий осадконакопления, процессов диагенеза и катагенеза осадочных отложений, решения вопросов стратификации пород и оценки их нефтегенерационного потенциала.

При проведении геохимических исследований ОБ образцов из ряда скважин на территории центральной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (НГБ) были отмечены интервалы баженовского разреза, в которых пиролитические показатели достигают аномально высоких значений. При более детальном исследовании обнаружено, что эти интервалы соответствуют слоям, которые светятся в ультрафиолетовом (УФ) свете. При этом свечение не было связано ни с повышенной нефтенасыщенностью, ни со вторичной карбонатностью, ни с туфовым материалом, которые в последние годы часто описывают в баженовских отложениях [Карношина, 2003; Shal'dybin et al., 2019; Панченко и др., 2021]. Выполненные нами детальные исследования показали, что эти слои состоят преимущественно из ОБ водородослевого происхождения — альгинита, мацерала группы липтинита. По преобладанию этого мацерала авторами предложено называть указанные интервалы альгинитовыми слоями.

В статье представлены результаты исследований альгинитовых слоев в разрезе баженовской свиты из скважин в центральной части Западно-Сибирского НГБ, слои обладают высоким нефтегазогенерационным потенциалом и характеристиками керогена I типа. Работа посвящена детальному изучению обнаруженных слоев, их состава и закономерностей распределения в разрезе.

Материалы и методы исследований. Люминесцирующие альгинитовые слои обнаружены и описаны в керновом материале пород баженовской свиты из более чем 30 скважин Западно-Сибирского НГБ (рис. 1).

На основании люминесцентного свечения для исследования были отобраны и изучены образцы альгинитовых слоев и для сравнения образцы из вмещающих отложений, представленных преимущественно высокоуглеродистыми кремнистыми породами. Выполнены пиролитические исследования для исключения туфовых прослоев, также обладающих люминесценцией, но обедненных ОБ.

Пиролитический анализ образцов методом Rock-Eval выполнен на пиролизаторе HAWK Resource Workstation (Wildcat Technology). Изучение петрографических шлифов проводилось с помощью поляризационного микроскопа Zeiss Axioskop 5. Для

изучения мацерального состава изготавливали углепетрографические аншлифы, которые исследовали на микроспектрофотометре QDI-300 Craic с базовым микроскопом DM 2500 P (Leica). Рентгеноструктурный анализ проводился с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA (Thermo Scientific). Рентгенофлуоресцентный анализ выполнен при помощи спектрометра ARL Perform'X (Thermo Scientific). Пиролитическая газовая хроматография пиро-ГХ×ГХ-ПВД/МС выполнена с помощью прибора Pegasus 4D (Leco) с криомодулятором и инъекционными модулями термодесорбции и пиролиза (Gerstel). Изотопный и элементный анализы углерода, азота и серы выполнены на масс-спектрометре DELTA V Plus (Thermo Scientific), оснащенный элементным анализатором Flash HT. Кинетические исследования термического разложения ОБ проводились на пиролизаторе HAWK RW с использованием неизотермического пиролиза дебитуминизированных образцов.

Результаты исследований и их обсуждение.

Пиролиз Rock-Eval. Геохимическая характеристика изученных скважин в интервале баженовской свиты показала, что альгинитовые слои характеризуются аномально высокими значениями основных пиролитических параметров: ТОС, S₂, HI, T_{\max} , $K_{\text{гос}}$ (рис. 2).

Наиболее отличительная черта альгинитовых слоев — аномально высокий водородный индекс, который, даже при повышенных значениях ТОС, на 200–400 мг УВ/г ТОС выше, чем в окружающих породах разреза. Для слабопреобразованных пород (ПКЗ) значения HI в этих участках достигает 1067 мг УВ/г ТОС. На модифицированной диаграмме Ван Кревелена образцы альгинитовых слоев из изученных скважин попадают в область керогена I типа, в то время как образцы вмещающих пород приурочены к области керогена II типа (рис. 3, а).

Концентрация органического углерода в альгинитовых слоях из скважин со слабопреобразованным ОБ достигает 30 вес.% и более, а во вмещающих силицитах значения этого параметра в 1,5–2 раза меньше. Отмечено, что с увеличением степени преобразованности разница нивелируется, а на стадии МК1-2 и более уже не фиксируется. Количество пиролизуемых УВ соединений (S₂) в альгинитовых слоях достигает 260 мг УВ/г породы. На диаграмме S₂-ТОС (рис. 3, б), альгинитовые слои обладают значительно бóльшим генерационным потенциалом по сравнению со вмещающими породами [Peters, 1986]. Кислородный индекс в альгинитовых слоях и вмещающих породах отличается незначительно (OI от 1 до 11 мг CO₂/г ТОС). Пиролитические параметры зрелости альгинитовых слоев находятся в несоответствии между собой: при очень низких индексах продуктивности (PI от 0 до 0,06), значения T_{\max} высокие и превышают такие же значения в окружающих силицитах на 6–14 °С, что отражает разницу в схеме созревания ОБ для керогенов разного типа [Tissot et al., 1987]. Отличительной чертой альгинитовых слоев также может служить

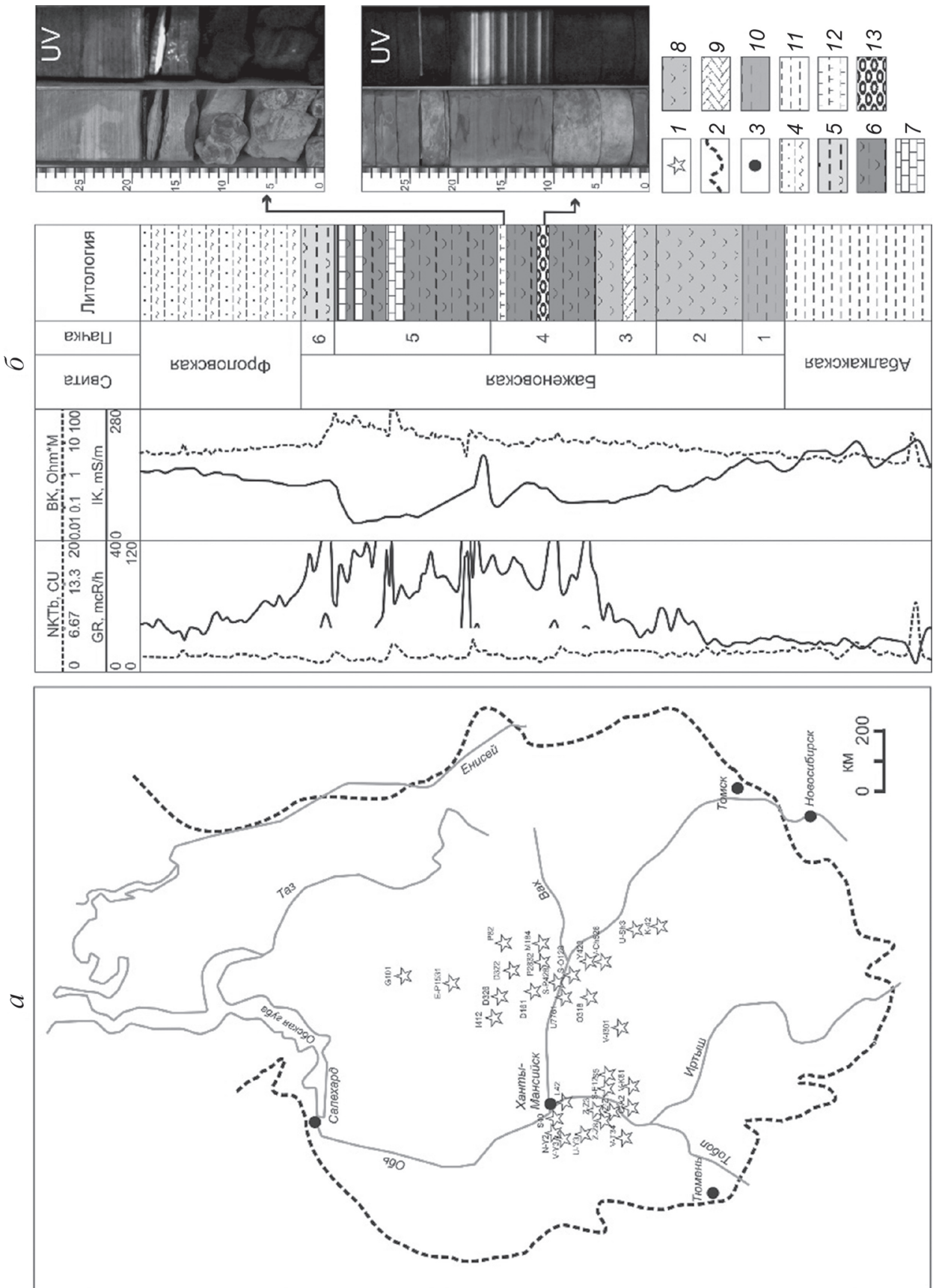


Рис. 1. Схема расположения и изученных скважин с наводками альгинитовых слоев (а), литологический разрез (а), литологический разрез скважины L42 и фото альгинитовых слоев и туфовых прослоев при дневном и УФ освещении (б)

1 — место положения скважин; 2 — границы Западно-Сибирского НГБ; 3 — населенные пункты; 4-13 — литологическая колонка: 4 — переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников; 5 — глинисто-кремнистые породы; 6 — высокоуглеродистые глинисто-кремнистые породы; 7 — углеродистые карбонатно-глинисто-кремнистые породы; 8 — кремнистые породы; 9 — прослой радиоларитов; 10 — углеродистые аргиллиты; 11 — аргиллиты; 12 — туфовые прослои; 13 — альгинитовые слои

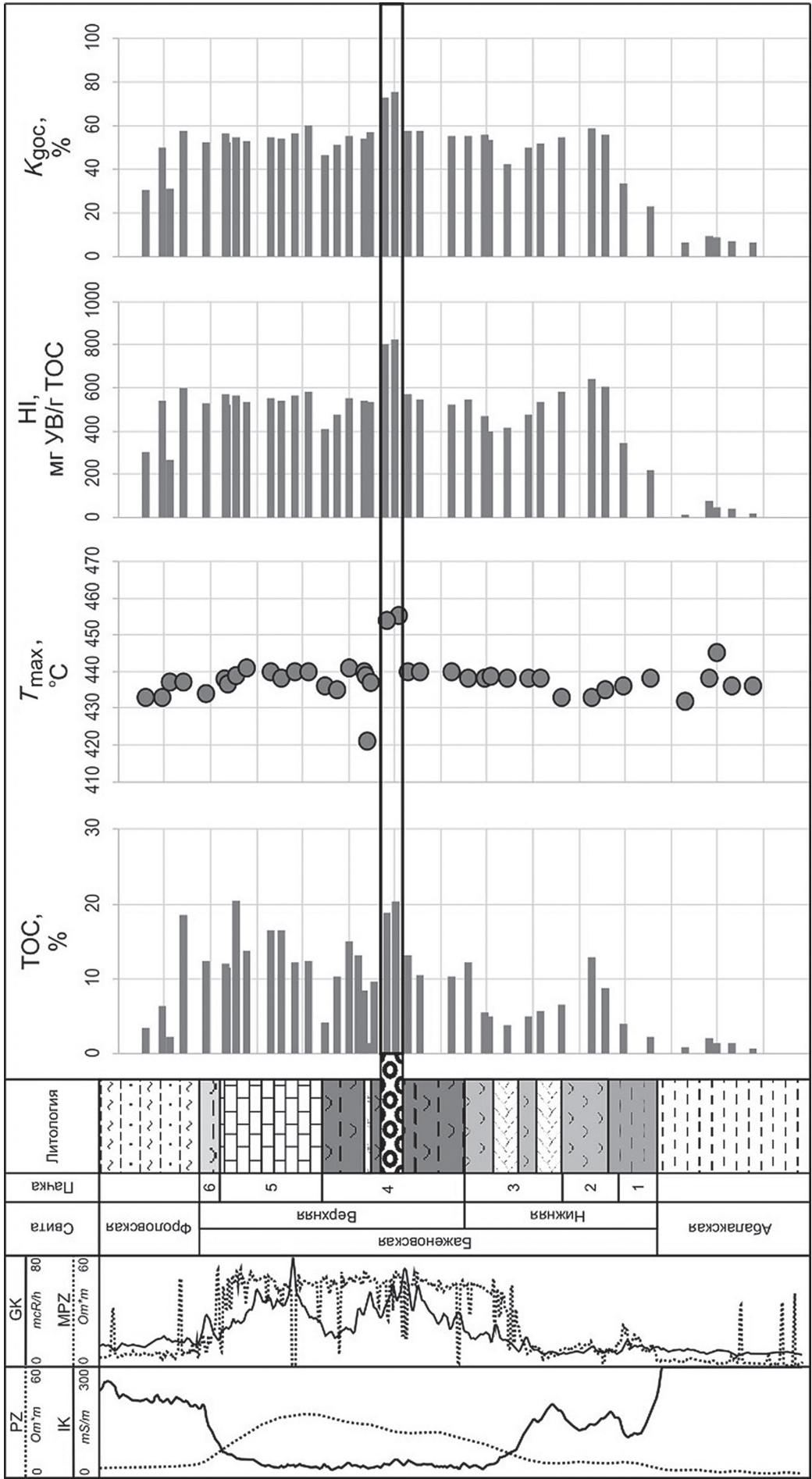


Рис. 2. Данные геохимического каротажа скважины S5. Условные обозначения для литологической колонки приведены на рис. 1

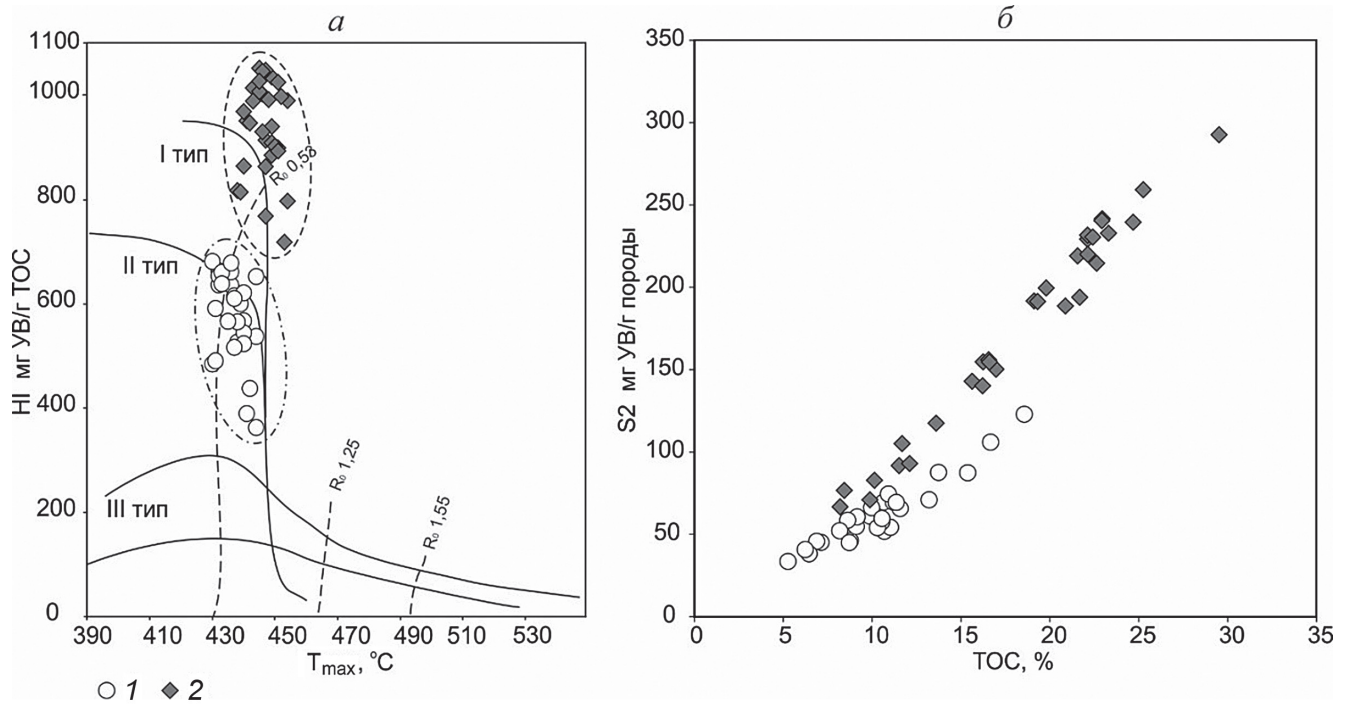


Рис. 3. Модифицированная диаграмма Ван Кревелена (а) и график зависимости S2/ТОС (б): 1 — вмещающие породы, 2 — альгинитовые слои

повышенный относительно фонового коэффициент пиролизуемого углерода $K_{\text{гос}}$, который достигает в них 91% и уменьшается с увеличением зрелости ОВ.

Углетрографические исследования. Изучение аншлифов показало, что мацералы, встреченные в изученных образцах, представлены альгинитом — органическим компонентом, образованным из водорослевого материала. Альгинит сложен комочками, сгустками и пленками на зернах кварца (рис. 4).

Нередко встречаются структурные признаки водорослей с волокнисто-фрагментарной микротекстурой. В аншлифах в УФ свете альгинит имеет ярко-желтое или зеленовато-желтое свечение. Объемная доля ОВ в альгинитовых слоях составляет 40–50 об.%.

В ходе исследования авторами не обнаружены альгинитовые слои, люминесцирующие в УФ свете, в образцах из скважин, где степень зрелости ОВ

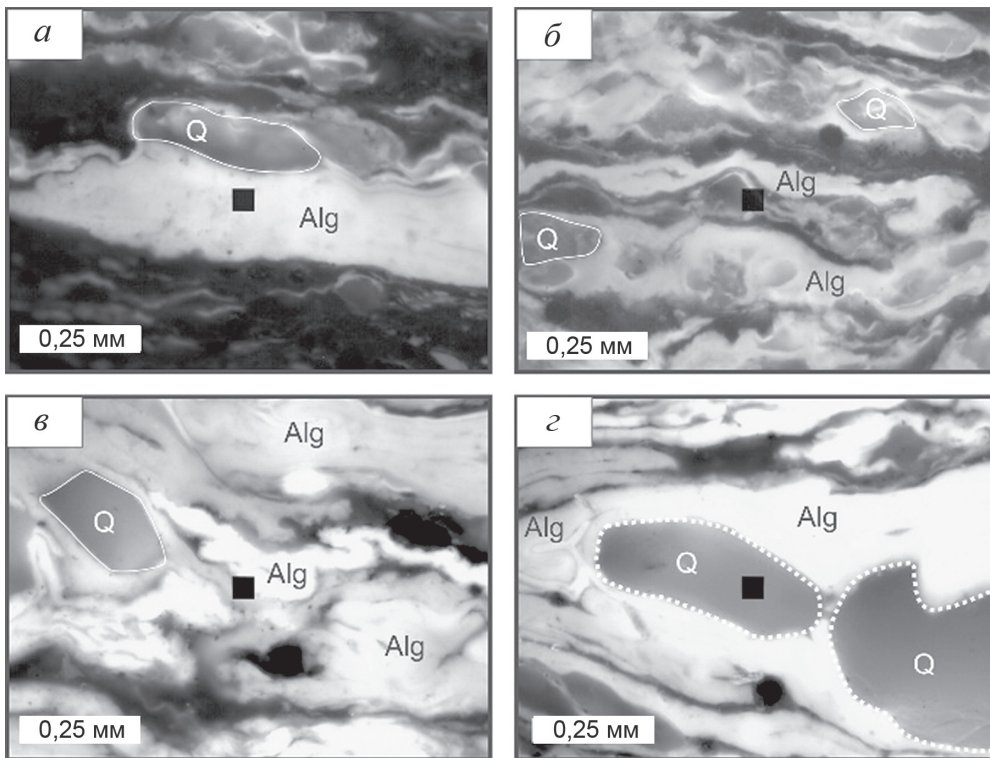
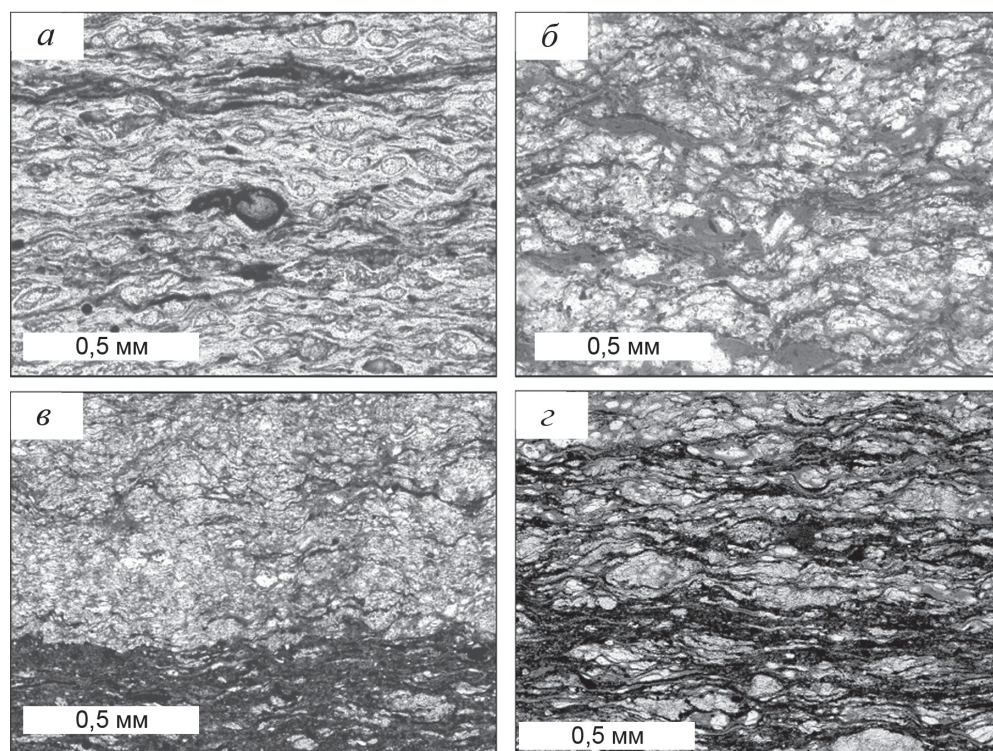


Рис. 4. Микрофотографии, иллюстрирующие типичный мацеральный состав в альгинитовых слоях в УФ свете: а — скважина V-Ch526 (глубина 2760,23 м), б — скважина S40 (глубина 2787,36 м), в — скважина V-Ch526 (глубина 2760,54 м), г — скважина V-Ch526 (глубина 2760,54 м); Alg — альгинит, Q — кварц

Рис. 5. Микрофотографии альгинитовых слоев в параллельных николях: *а* — скважина L42 (глубина 2787,46 м), *б* — скважина S-O128 (глубина 2717,36 м), *в* — скважина S-P408 (глубина 2564,58 м), *г* — скважина S-O128 (глубина 2717,30 м)



баженовской свиты превышает стадию МК2. Эта особенность означает, что при достижении определенного катагенетического уровня слои теряют свои диагностические признаки.

Петрографическая и минералогическая характеристика пород. Микроскопически в альгинитовых слоях преобладает (до 50 об.%) желтая, желто-бурая, почти бесструктурная масса ОВ (рис. 5, *а, б*).

Подчиненную роль играют овальные и линзовидные частицы кварца размером от 0,02×0,05 до 0,1×0,3 мм. В случае преслаивания альгинитовых слоев с вмещающими породами в шлифах отмечается чередование водорослевого желтого, желто-бурого ОВ с темно-бурой органоминеральной массой из выше- и нижезалегающих пород (рис. 5, *в*). Пирит представлен в виде фрамбOIDов, равномерно распределенных в породе. Границы альгинитовых слоев с нижележащими породами резкие (рис. 5, *г*), верхние контакты градационные.

Как показали данные рентгеноструктурного анализа, минеральная часть альгинитовых слоев состоит преимущественно из кварца (70–90 вес.%). Содержание глинистых минералов, среди которых диагностируются каолинит и смешанослойные образования, обычно не превышает 17 вес.%. В подчиненном количестве присутствуют карбонаты (кальцит, доломит) и пирит. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа подтверждают данные минерального состава и также указывают на преимущественно кварцевую составляющую неорганической части альгинитовых слоев (количество SiO₂ достигает 65–90 вес.%).

Продукты пиролиза керогена. Характеристика ОВ, выполненная с помощью метода пиролитической газовой хроматографии, показала различия в

составе продуктов пиролиза керогена вмещающих пород и альгинитовых слоев (рис. 6).

Кероген I типа люминесцирующих альгинитовых слоев разлагается с выделением преимущественно длинноцепочечных n-алканов и n-алкенов (не менее 90 вес.%), что характерно для ОВ, источником которого был материал с высоким содержанием липидных и протеиновых компонентов [Tissot et al., 1987; Horsfield, 1989]. В результате пиролиза ОВ вмещающих пород образуется значительное количество моно-, ди- и три-ароматических УВ, серосодержащих тиофены, бензотиофены и их алкил-замещенные производные. Таким образом, в образцах вмещающих отложений при пиролизе выявлено около 30–50 вес.% ароматических продуктов, что указывает на кероген II типа с более вы-

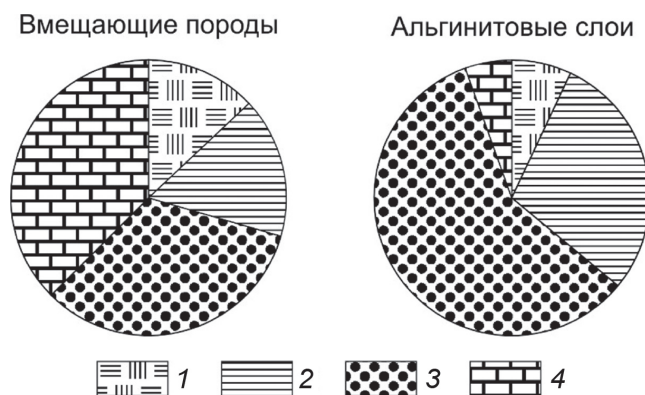


Рис. 6. Групповой состав углеводородов, генерируемых керогеном вмещающих пород и альгинитовых слоев баженовской свиты: 1 — легкие УВ; 2 — n-алканы; 3 — насыщенные УВ и нафтены; 4 — арены

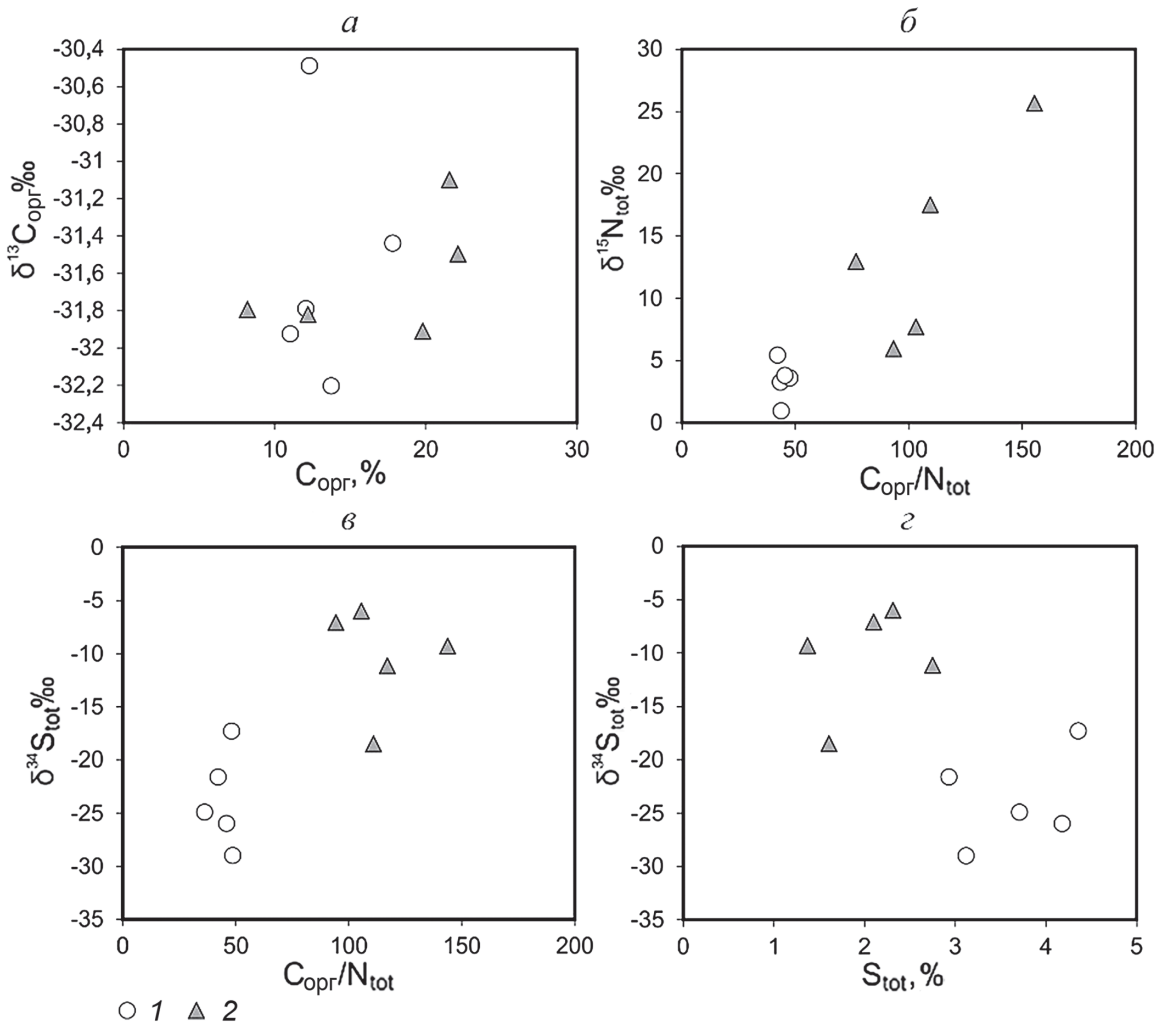


Рис. 7. Графики $\delta^{13}C_{орг} — C_{орг}$ (а), $\delta^{15}N_{tot} — C_{орг}/N_{tot}$ (б), $\delta^{34}S_{tot} — C_{орг}/N_{tot}$ (в) и $\delta^{34}S_{tot} — S_{tot}$ (г) для: 1 — вмещающих пород, 2 — альгинитовых слоев

соким содержанием разнообразного органического (зоопланктонного и фитопланктонного) материала [Dembicki, 2009].

Изотопный состав C, N, S. Изотопный состав углерода ОВ альгинитовых слоев и вмещающих пород характеризуется близким содержанием изотопа углерода ^{13}C (рис. 7, а).

Величина $\delta^{13}C_{орг}$ для альгинитовых слоев составляет от $-31,1$ до $-31,9‰$, для вмещающих пород $\delta^{13}C_{орг}$ варьирует от $-30,5$ до $-32,2‰$. Полученные значения характерны для исходного морского ОВ, из которого образовался кероген баженовской свиты [Конторович и др., 2019].

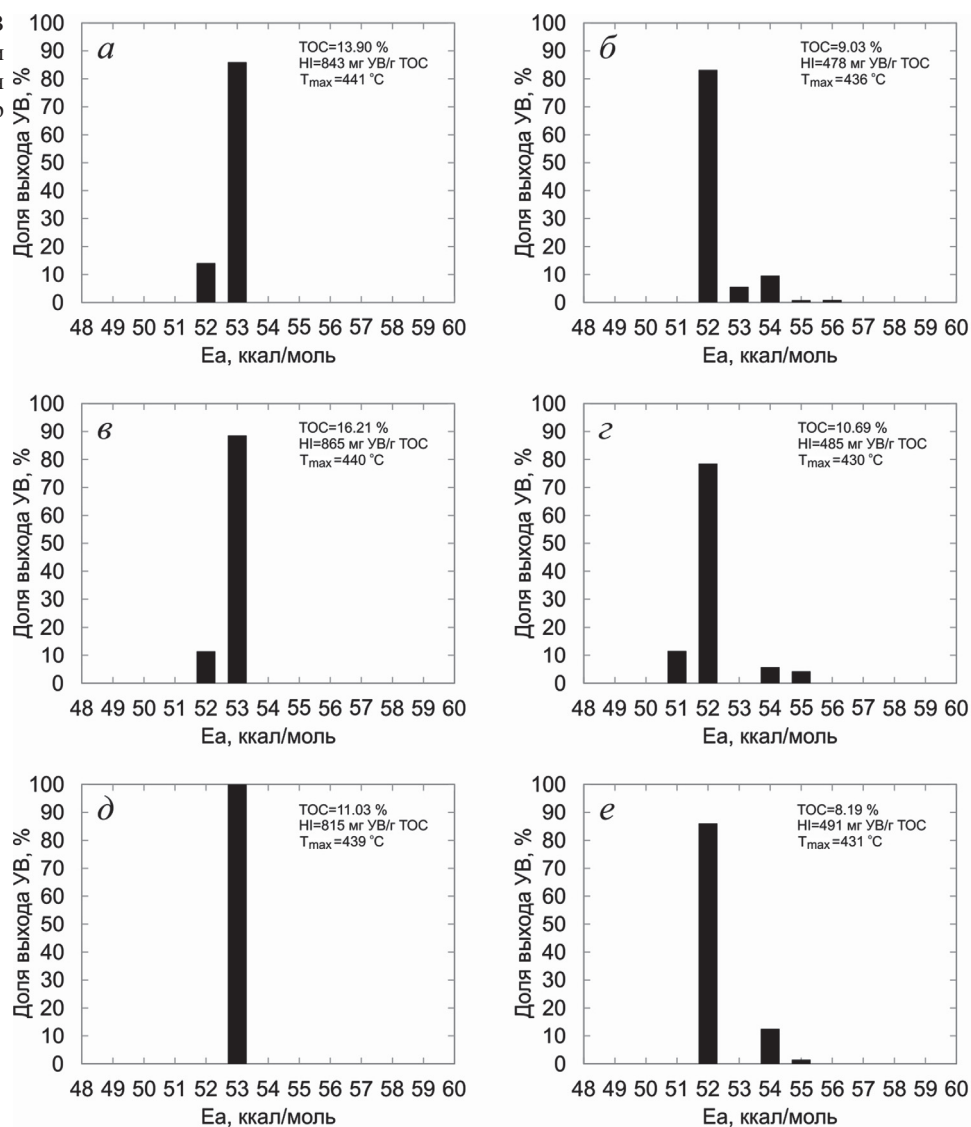
Концентрация азота в альгинитовых слоях и вмещающих породах варьирует от 0,07 до 0,37 вес.%, для всех образцов из альгинитовых слоев отмечены более низкие значения по отношению к вмещающим породам (в 1,5–2 раза). Значения $\delta^{15}N_{tot}$ для вмещающих пород изменяются от 0,9 до 5,4‰ при доле азота от 0,24 до 0,37 вес.%. В альгинитовых слоях отмечено обогащение ^{15}N , так, значения $\delta^{15}N_{tot}$ составляют от 5,9 до 25,7‰ при доле азота от 0,07 до 0,21 вес.%. Соотношения C/N находятся в прямой корреляции с утяжелением изотопного состава азота (рис. 7, б).

Низкое содержание и тяжелый изотопный состав азота в альгинитовых слоях связан как с изначальным преобладанием липидной составляющей, так и со значительными микробными изменениями ОВ на стадии диагенеза.

Содержание и изотопный состав общей серы также различны в альгинитовых слоях и вмещающих отложениях. Для альгинитовых слоев значения $\delta^{34}S_{tot}$ изменяются от $-6,0$ до $-18,5‰$ при доле общей серы от 1,37 до 2,75 вес.%. Во вмещающих породах выявлено преобладание более легкой серы — $\delta^{34}S_{tot}$ изменяется от $-17,3$ до $-29,0‰$ при значениях S_{tot} от 3,71 до 4,36 вес.%. Альгинитовые слои характеризуется промежуточными значениями величины $\delta^{34}S_{tot}$, что отражает более окислительные условия осадконакопления по сравнению с вмещающими породами.

Кинетические исследования. Еще одно свидетельство присутствия керогена I типа в альгинитовых слоях баженовской свиты дают данные кинетических исследований термического разложения ОВ. На рис. 8 представлены гистограммы распределения энергий активации для пар образцов (из альгинитовых слоев и вмещающих пород).

Рис. 8. Распределение E_a для ОБ альгинитовых слоев (а, в, д) и вмещающих пород (б, з, е). Для всех спектров частотный фактор $A=1 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}$ (з)



Спектр энергий активации для альгинитовых слоев очень узкий и состоит преимущественно из единой энергии $E_a=53$ ккал/моль, что характерно для керогена I типа [Tissot et al., 1987]. Форма и распределение E_a (с максимумом на 52 ккал/моль) типичны для ОБ баженовской свиты и характеризуют ОБ вмещающих пород как кероген II типа. Кероген I типа альгинитовых слоев имеет более узкий энергетический диапазон генерации УВ, в отличие от керогена II типа, содержащегося во вмещающих породах. Поэтому генерация УВ органическим веществом альгинитовых слоев происходит мгновенно в масштабах геологического времени, однако начинается позже, чем в остальных породах баженовского разреза, на что указывает смещение максимума E_a на гистограммах распределения значений энергии активации. Таким образом, в альгинитовых слоях отмечено улучшение качества ОБ и его генерационного потенциала по пиролитическим показателям, что находит отражение в одномоментном образовании УВ. Для пород баженовской свиты, содержащих кероген II типа, напротив, характерно расширение интервала распределения энергии активации.

Таким образом, кероген I типа в породах баженовской свиты обнаружен и описан в альгинитовых слоях, которые распространены в центральной части Западно-Сибирского НГБ на территории более 0,5 млн км². Скважины с находками керогена I типа расположены в разных фациальных районах Западной Сибири и приурочены к различным тектоническим элементам.

Результаты лабораторных исследований указывают на водородослеву природу изученных люминесцирующих альгинитовых слоев баженовской свиты. Геохимические исследования подтверждают присутствие в этих слоях концентрированного керогена I типа, который разбавляется керогеном II типа при переходе к вмещающим силицитам баженовской свиты.

Чаще всего люминесцирующие альгинитовые слои расположены в низах верхней подсвиты баженовской свиты. В этой же высокоуглеродистой пачке, но выше по разрезу, находятся другие люминесцирующие прослои, имеющие вулканическую природу (рис. 1). Эти прослои, обогащенные вулканогенным материалом, сложены вторично измененными туфа-

ми — сильнотрещиноватыми зеленовато-серыми либо бурыми породами с реликтовой вулканокластической микроструктурой, в которых основная масса представлена раскристаллизованным вулканическим стеклом, вторично интенсивно глинизированным. Широкое распространение альгинитовых слоев на территории Западной Сибири делает их, совместно с туфовыми прослоями, важными маркирующими горизонтами при выполнении стратиграфической корреляции баженовских отложений.

Нефтегазогенерационный потенциал ОБ альгинитовых слоев, содержащих кероген I типа, значительно превышает таковой во вмещающих породах. Несмотря на малую мощность единичных слоев или серии слоев, суммарная толщина слоев, более чем на 50 об.% состоящих из ОБ керогена I типа, в отдельных скважинах достигает 1 м. Преобладание алифатических соединений в углеводородах, образованных керогеном I типа, предполагает высокое качество добываемой нефти.

Интенсивность и цвет свечения альгинитовых слоев в УФ или его отсутствие можно использовать в качестве дополнительных параметров зрелости для ОБ пород баженовской свиты. Цвет и интенсивность свечения альгинитовых слоев в УФ свете значительно изменяются или пропадают при достижении стадии зрелости МК2, что связывают с увеличением ароматичности углеводородных соединений [Bertrand et al., 1986; Pradier et al., 1991].

Кроме типичных озерных сапропелей, есть примеры солоноводных морских бассейнов (например, Черное и Средиземное моря), но в них сапропелевые осадки связаны с застойной сероводородной обстановкой, что характерно для всего баженовского бассейна и не объясняет концентрированные слои керогена I типа.

Еще одним сценарием образования альгинитовых слоев могут быть вспышки развития фитопланктона на питательном веществе эолового переноса. На юге и юго-западе баженовского бассейна господствовал субаридный климат с развитием прибрежных пустынь. Эпизодический вынос в бассейн пустынного материала песчаными бурями обеспечивал поступление в центральные части бассейна глинистых минералов, гумуса, микроэлементов, обломочного кварца и потепление верхних слоев воды в результате распространения теплых воздушных масс. Кварц альгинитовых слоев имеет специфическую морфологию, не встречается в остальных породах баженовской свиты и имеет схожие формы с обломочным материалом эолового разноса [Хотылев и др., 2019]. Поступление питательных элементов могло провоцировать возникновение вспышек развития фитопланктона (цветение воды), которые быстро затухали в связи с исчерпанием запаса привнесенных питательных веществ.

Образование альгинитовых слоев также может быть связано с деятельностью палеовулканов. На присутствие пирокластики в породах баженовской свиты неоднократно указывалось в работах [Ван, Казанский, 1985; Панченко и др., 2021]. Вулканический пепел может представлять собой питательную среду для развития различных цианобионтов и симбиотических водорослевых колоний [Fujimura et al., 2011]. Частицы кварца необычной формы, присутствующие в слоях, по всей видимости, могут быть раскристаллизованным вулканическим стеклом.

В любом случае осаждение на дно морского бассейна водорослевого вещества, судя по малой толщине альгинитовых слоев, было мгновенным событием в масштабе геологического времени и представляло собой некую вспышку биологической продуктивности водорослей. По мере снижения концентрации питательных веществ количество водорослей в морской воде сокращалось, и их материал начинал смешиваться с остальными продуцентами и кремнистым осадком в придонном нефелоидном слое воды.

Заключение. Дана детальная литологическая и геохимическая характеристика люминесцирующих слоев, обогащенных керогеном I типа, названных авторами альгинитовыми слоями. Альгинитовые слои зафиксированы в ряде скважин разреза баженовской свиты в центральной части Западно-Сибирского бассейна. Все описанные люминесцирующие альгинитовые слои приурочены преимущественно к единому стратиграфическому диапазону — низам верхней баженовской толщи в интервале высокоуглеродистой пачки. Приведены лабораторные данные, доказывающие существование «концентрированного» водорослевого вещества, обладающего аномально высоким нефтегенерационным потенциалом в отложениях баженовской свиты.

Использование альгинитовых слоев в качестве маркирующих горизонтов позволит повысить эффективность корреляционного сопоставления отложений баженовской свиты, что представляет большой интерес для стратиграфии Западной Сибири. Люминесцентные свойства керогена альгинитовых слоев можно использовать при оценке зрелости баженовской свиты от градации катагенеза ПК3 до МК2. Существование в отложениях керогена I типа необходимо учитывать при вводе данных в бассейновом моделировании, поскольку ОБ разных органотипов с отличающейся кинетикой разложения генерирует УВ в различных временных и температурных условиях.

Финансирование. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-10-2020-119 в рамках программы развития НЦМУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ван А.В., Казанский Ю.П. Вулканокластический материал в осадках и осадочных породах. Новосибирск: Наука, 1985. 127 с.
- Гончаров И.В., Самойленко В.В., Обласов Н.В. и др. Типы и катагенез органического вещества баженовской свиты и ее возрастных аналогов // Нефтяное хоз-во. 2016. № 10. С. 20–25.
- Калмыков А.Г., Карпов Ю.А., Топчий М.С. и др. Влияние катагенетической зрелости на формирование коллекторов с органической пористостью в баженовской свите и особенности их распространения // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 2. С. 159–171.
- Карнюшина Е.Е. Кремнистые породы нефтяной баженовской свиты Краснотенинского свода (Западная Сибирь) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2003. № 6. С. 19–27.
- Конторович А.Э., Богородская Л.И., Борисова Л.С. и др. Геохимия и катагенетические превращения керогена баженовского горизонта // Геохимия. 2019. Т. 64, № 6. С. 585–593.
- Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 680 с.
- Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геологии. М.: Наука, 1987. 143 с.
- Оксенойд Е.Е., Волков В.А., Олейник Е.В., Мясникова Г.П. Типы керогена баженовской свиты по данным пиролиза и их сопоставление с параметрами нефтей // Изв. вузов. Нефть и газ. 2017. № 5. С. 34–43.
- Панченко И.В., Соболев И.Д., Рогов М.А., Латышев А.В. Вулканические туфы и туффиты в пограничных отложениях юры и мела (волжский–рязанский ярусы) Западной Сибири // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 2. С. 144–183.
- Хотылев О.В., Балушкина Н.А., Вишневецкая В.С. и др. Модель накопления радиоляриевых слоев в баженовской свите Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 1. С. 89–94.
- Bertrand P., Pittion J.L., Bernaud C. Fluorescence of organic matter in relation to its chemical composition // Org. Geochem. 1986, Vol. 10. P. 641–647.
- Dembicki Jr.H. Three common source rock evaluation errors made by geologists during prospect or play appraisals // AAPG Bull. 2009. Vol. 93, N 3. P. 341–356.
- Fujimura R., Sato Y., Nishizawa T. et al. Analysis of early bacterial communities on volcanic deposits on the Island of Miyake (Miyakejima), Japan: a 6-year study at a fixed site // Microbes Environ. 2012. Vol. 27, N 1. P. 19–29.
- Horsfield B. Practical criteria for classifying kerogens: Some observations from pyrolysis-gas chromatography // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1989. Vol. 53. P. 891–901.
- Peters K.E. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1986. Vol. 70. P. 318–329.
- Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide — 1st Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 1155 p.
- Pradier B., Bertrand P., Martinez L., Laggoun-De-Farge F. Fluorescence of organic matter and thermal maturity assessment // Org. Geochem. 1991. Vol. 17. P. 511–524.
- Shaldybin M.V., Wilson M.J., Wilson L. et al. The nature, origin and significance of luminescent layers in the Bazhenov Shale Formation of West Siberia, Russia // Marine and Petrol. Geol.. 2019. Vol. 100. P. 358–375.
- Tissot B.P., Pelet R., Ungerer P.H. Thermal history of sedimentary basins, maturation indices, and kinetics of oil and gas generation // AAPG Bull. 1987. Vol. 71, N 12. P. 1445–1466.
- Tissot B.P., Welte D.H. Petroleum formation and occurrence. Sec. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 699 p.

Поступила в редакцию 23.06.2021

Поступила после доработки 30.06.2021

Принята к публикации 13.12.2021