

УДК 551.7.022.4

А.Ю. Юрченко¹, А.С. Потапова², В.А. Бумагина³, А.П. Вилесов⁴,
 К.Н. Чертин⁵, Н.С. Балушкина⁶, Г.А. Калмыков⁷, О.В. Хотылев⁸

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД АБАЛАКСКО-БАЖЕНОВСКОГО КОМПЛЕКСА

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет.
 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1

Тюменский нефтяной научный центр. 625002, Тюменская обл., Тюмень, ул. Осипенко, 79/1, БЦ «Овентал»
 Фонд «Национальное интеллектуальное развитие». 119234, Москва, Ломоносовский пр. 27, к. 1

Moscow State University, Faculty of Geology. 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Tyumen Petroleum Research Center. 625002 Tyumen region, Tyumen, st. Osipenko, 79/1, BC «Ovental»

Fund «NIR». 119234, Moscow, Lomonosovsky prospect, 27, bld. 1

Наиболее перспективные интервалы разреза в баженовской (тутлеймской) и абалакской свитах сложены прослойками кремнистых и карбонатных пород. На основе анализа керна выполнена генетическая типизация карбонатных пород с целью повышения качества их прогноза, определены наиболее перспективные из них для поиска нефтенасыщенных коллекторов.

Ключевые слова: карбонатные породы, Красноленинский свод, абалакская свита, баженовская свита, трещиноватость, кавернозность.

The most prospective section intervals in the Bazhenov formation (Tutleimskoy) and Abalak formation are composed of interbedded siliceous and carbonate rocks. Based on the core analysis, genetic typing of carbonate rocks was performed to improve the quality of their prediction, the most promising of them for finding of oil-saturated reservoirs are identified.

Key words: carbonate rocks, Krasnoleninskiy svod, Abalak formation, Bazhenov formation, reservoir-scale fractures, cavern porosity.

Введение. Район исследований расположен в западной части Западной Сибири, в Ханты-Мансийском автономном округе. В тектоническом отношении он приурочен к Красноленинскому своду. Согласно схемам структурно-фациального районирования район исследования расположен на границе двух литолого-фациальных районов — Казым-Кондинского и Фроловско-Тамбейского, в зоне перехода тутлеймской свиты в баженовскую на востоке [Решение..., 2004].

Основные залежи нефти связаны здесь с юрскими отложениями, в том числе с абалакской свитой, промышленная продуктивность которой установлена в 1991 г. На сегодняшний день это один из основных объектов нефтедобычи в пределах Красноленинской группы месторождений.

Материалы и методы исследований. Коллекторы абалакской и тутлеймской (баженовской) свит

относятся к нетрадиционному типу, большинство исследователей связывают их фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) с трещиноватостью и кавернозностью. Интервалы с повышенной трещиноватостью и кавернозностью приурочены преимущественно к карбонатным или кремнистым породам, наиболее хрупким и в большей степени подверженным трещинообразованию при воздействии тектонических нагрузок. В этих же породах, имеющих наиболее жесткую матрицу, существуют благоприятные предпосылки не только для закрепления образовавшихся в результате тектонических или каких-либо других процессов трещин, но и для формирования кавернозной емкости вследствие растворения и выщелачивания минеральных компонентов при фильтрации пластовых флюидов. Карбонатные и кремнистые породы в отложениях абалакской и тутлеймской

¹ Московский государственный университет, геологический факультет, кафедра нефтегазовой седиментологии и морской геологии, ст. науч. с.; e-mail: annete1988@inbox.ru

² Тюменский нефтяной научный центр, менеджер; e-mail: aspotapova2@tnnc.rosneft.ru

³ Тюменский нефтяной научный центр, ведущий специалист; e-mail: vabumagina@tnnc.rosneft.ru

⁴ Тюменский нефтяной научный центр, эксперт по литологии и седиментологии; e-mail: apvilesov@tnnc.rosneft.ru

⁵ Тюменский нефтяной научный центр, зав. лабораторией; e-mail: knchertina@tnnc.rosneft.ru

⁶ Московский государственный университет, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, науч. с.; e-mail: nataliabalushkina@mail.ru

⁷ Московский государственный университет, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых; e-mail: gera64@mail.ru

⁸ Фонд НИР, вед. инженер; e-mail: hot63@mail.ru

свит встречаются преимущественно в виде линз и прослоев, большинство из которых не выдержано по вертикали и латерали. Целью нашей работы было установление генезиса карбонатных пород тутлеймской (баженовской) и абалакской свит для повышения точности прогноза.

Работа основана на результатах изучения керна из 11 скважин, выполненных Центром исследования керна ООО «ТННЦ» (общий метраж 560 м). Для выделения литологических типов пород макроскопически изучено более 500 м керна, выполнено петрографическое описание более 7000 шлифов, породы исследованы методом РЭМ (более 700 образцов) и определен изотопный состав углерода и кислорода карбонатных минералов (более 100 образцов).

На основе результатов анализа керна изучаемый интервал разреза разделен на пачки (описание снизу вверх по разрезу). Нижняя пачка 1а абалакской свиты представлена аргиллитами алевритистыми до алевритовых, в кровле с примесью зерен глауконита. Породы биотурбированные, с раковинами двустворок, редко аммонитов, фрагментами ростров белемнитов. В нижней части разреза наблюдаются многочисленные фрамбоиды пирита, в верхней — карбонатные конкреции, местами больше диаметра керна. Пачка 2а абалакской свиты представлена глауконит-глинистыми биотурбированными породами с фрагментами ростров белемнитов, остатками раковин двустворок и аммонитов. В кровле пачки присутствуют прослои карбонатных и глинисто-карбонатных пород.

В тутлеймской свите выделено 6 пачек (описание снизу вверх по разрезу). Нижняя пачка 1т сложена кремнисто-глинистыми породами. Отмечаются редкие ростры белемнитов, отпечатки лингул, онихиты, редкие мелкие карбонатные стяжения. В верхней части пачки выделены прослои карбонатизированных радиоляритов (известняки апорадиоляитовые). Пачка 2т сложена кремнистыми породами (радиоляритами, мощность прослоев до 20 см) с тонкими прослойками глинисто-кремневых пород. К кровле пачки содержание кремнезема возрастает, отмечены следы вторичной карбонатизации пород. Пачка 3т сложена глинисто-кремневыми породами, с линзовидными стяжениями пирита, с раковинами аммонитов. В средней части пачки повсеместно присутствует бурый прослой пелитизированного туфа (мощность до 1 см), который характеризуется ярким желтым свечением в ультрафиолетовом свете. В кровле и подошве пачки отмечены прослои, обогащенные ихтиодетритом (штормогенные прослои, мощность до 3 см). Пачка 4т представлена глинисто-кремневыми и карбонатно-глинисто-кремневыми породами с многочисленными прослойками раковин двустворок *Buchia* и *Inoceramus*, редко аммонитов, количество которых постепенно возрастает к кровле пачки. Пачка 5т сложена гли-

нисто-кремневыми породами с многочисленными стяжениями и линзами известняков (нодули). Кровлю пачки маркирует прослой микробиальных известняков мощностью до 10 см. Верхняя пачка 6т образована кремнисто-глинистыми, интенсивно пиритизированными породами с органическими остатками (онихиты, остатки рыб). Пирит преимущественно рассеянный, в некоторых местах в виде стяжений и линз.

Ниже приведена краткая характеристика и результаты генетической типизации карбонатных пород абалакской и тутлеймской (баженовской) свит.

Результаты исследований и их обсуждение. В исследуемом интервале абалакско-баженовского комплекса выделено 6 литогенетических типов карбонатных пород (ЛТГ), описание которых дается снизу вверх.

ЛТ 1. В нижней части разреза абалакской свиты (пачки 1а, 2а) присутствуют конкремионные образования сферической формы карбонатного состава (рис. 1, 2). Центральная часть конкреции сложена преимущественно кальцитом, внешняя оболочка представлена сидеритом. Формирование конкреций происходило на этапе диа- и катагенеза за счет кристаллизации кальцита вокруг инициальных центров, которыми могли быть раковины моллюсков, ростры белемнитов.

Перераспределение вещества внутри тела конкреции приводило к кристаллизации новообразованных минералов по стенкам трещин. Подобные образования принято называть септариями (от латинского слова — «септум», перегородка). Диаметр конкреций варьирует от нескольких десятков сантиметров до 70 см.

Существуют различные точки зрения на причины образования полостей в конкрециях осадочных пород. В большинстве случаев считают, что полости и трещины в септариях — результат сокращения в объеме усыхающего полужидкого сгустка (геля) исходной «протоконкреции». В этом случае их можно считать трещинами усыхания (синерезиса).

Значения $\delta^{18}\text{O}$ кальцита из тела конкреции и из трещин не сильно отличаются между собой и лежат в диапазоне ($-0,1\text{--}-8,2\text{\textperthousand}$) VPDB, это указывает на то, что они образовались в диагенезе и катагенезе и почти не затронуты вторичными преобразованиями. Изотопный состав углерода кальцита (значения $\delta^{13}\text{C}$ от $-13,8$ VPDB до $-27,4\text{\textperthousand}$ VPDB) свидетельствует о биогенном источнике углекислоты.

Горизонты с конкрециями септариевого типа имеют, как правило, выдержанное распространение в пределах площади.

По данным Е.А. Жуковской и Л.Г. Вакуленко [2011], в центральных и южных районах Западной Сибири в отложениях оксфордского яруса зафиксировано развитие карбонатных конкреций с септариевыми трещинами. Следовательно, обна-

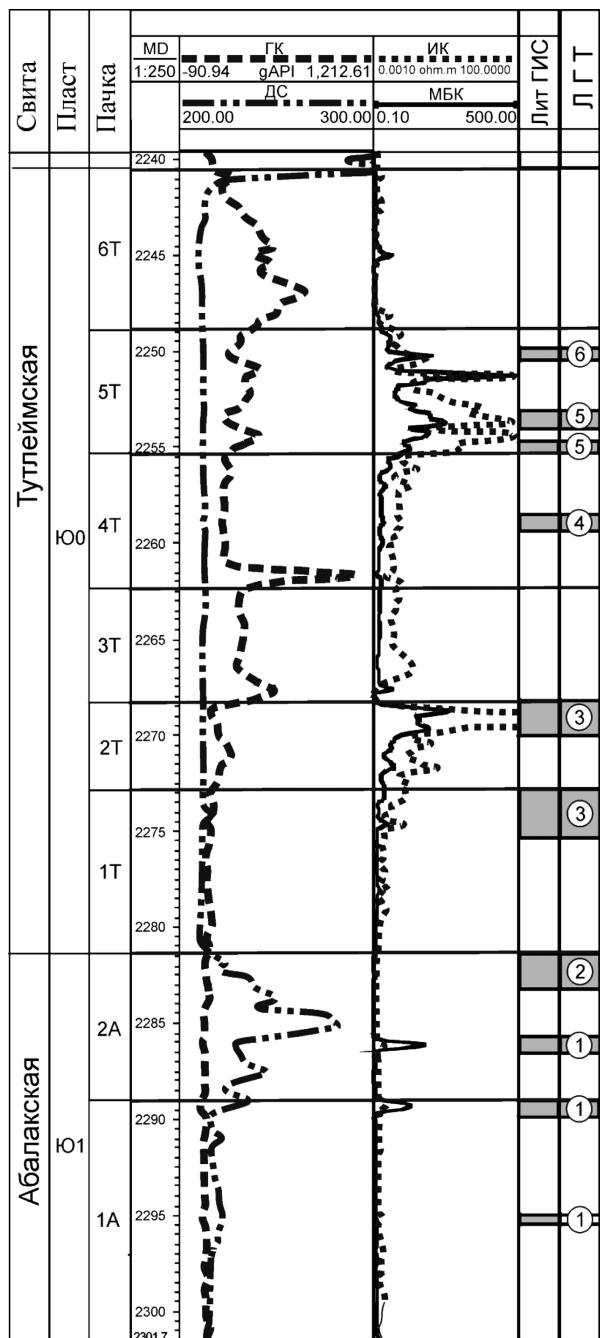


Рис. 1. Типовой разрез абалакской и тулеймской свит в районе исследования. Справа указаны номера литогенетических типов пород (ЛГТ)

ружение септариев в породах абалакской свиты в западной части Западной Сибири подтверждает их региональное развитие.

В некоторых случаях конкремионные карбонатные слои в нижней части абалакской свиты прорваны двумя системами трещин с сильно отличающимися морфологическими характеристиками. Часть трещин имеет раскрытие не более 3–5 мм, равномерно минерализованы кальцитом, их можно отнести к трещинам синерезиса. На это указывают и изотопные характеристики кальцита в трещинах, которые не сильно отличаются от изотопных характеристик кальцита тела септариев.

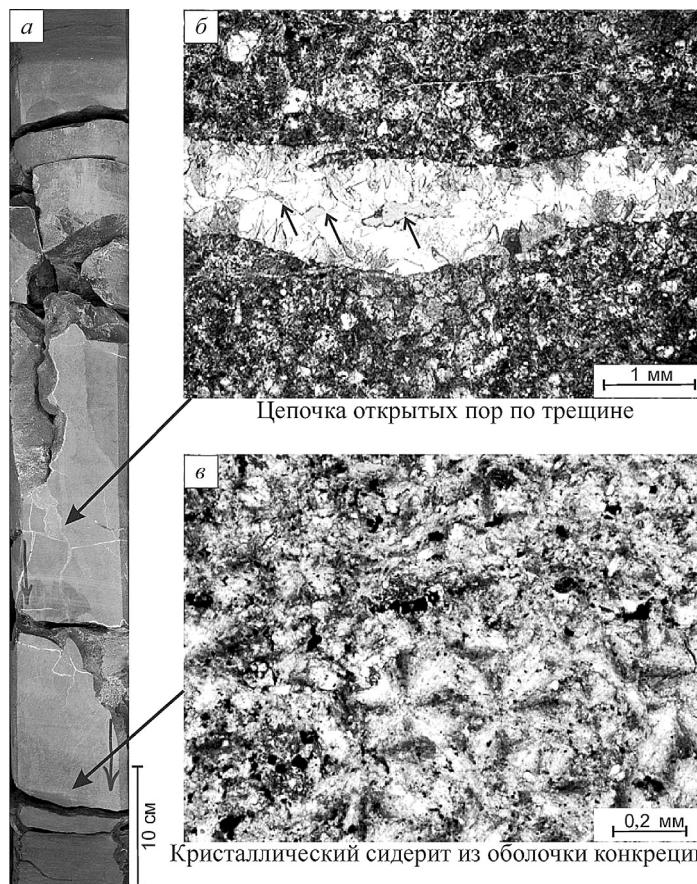


Рис. 2. Фото шлифов: ЛГТ1. Септариевые конкремции: *а* — фото керна; *б* — шлиф, карбонатная порода с глауконитом и органическими остатками; *в* — шлиф, карбонатная порода с глауконитом, слабоалевритистая, с примесью ОВ

Другая часть трещин имеет ширину до 10 см, они характеризуются зональным нефтенасыщением. В трещинах помимо кальцита присутствуют кристаллы прозрачного кварца размером до $0,5 \times 0,5$ см, а также кристаллы пирита и барита (рис. 3). Значения температуры кристаллизации кальцита в трещинах (пересчитанные по $\delta^{18}\text{O}$, лежащим в диапазоне от $-14,6$ до $-18,1\text{\textperthousand}$ VPDB) составляют в среднем 125°C . Это означает, что карбонатизация трещин имеет вторичный характер и происходит при воздействии гидротермальных растворов. Сопутствующие трещинам зеркала скольжения и зоны милонитизации во вмещающих породах позволяют предположить тектоническую природу трещин.

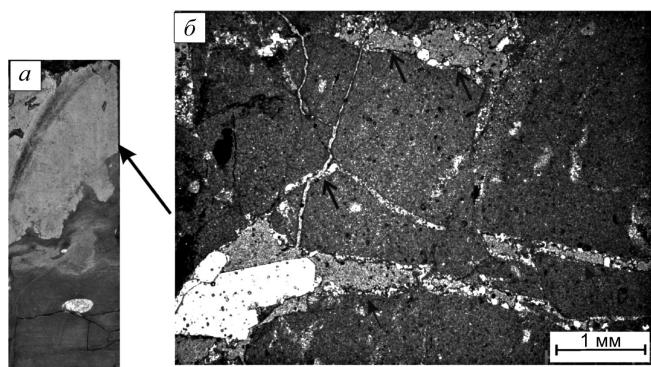
ЛГТ 2. Выше по разрезу, в кровле абалакской свиты (рис. 1, 4), присутствуют известковистые мергели и известняки со структурой мадстоун, которые с резким контактом залегают на подстилающих отложениях. Мергели темно-серого цвета, местами зеленоватые из-за примеси глауконита. Породы в целом умеренно, местами интенсивно биотурбированы (Chondrites, Planolites). Известняки серые, местами светло-серые со структурой мадстоун. В шлифах установлены микритовые и биокластово-микритовые структуры мадстоун-вакстоун. Присутствуют микробиальные желваки



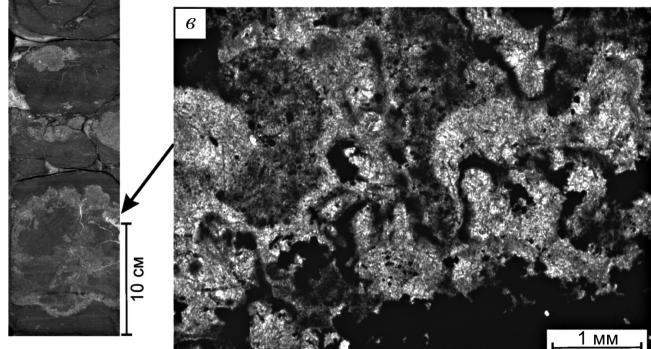
Рис. 3. Тектонические трещины, минерализованные гидротермальным кальцитом и кварцем, прорывающие септиевую конкрецию

10 см

Рис. 4. Фото ЛГТ 2: известняки литорали: *а* — керн; *б* — шлиф, известняк микрокристаллический с примесью глауконита, с трещинами и кавернами; *в* — шлиф, известняк микробиальный



Трещины и каверны



Кустистые формы микробиалитов

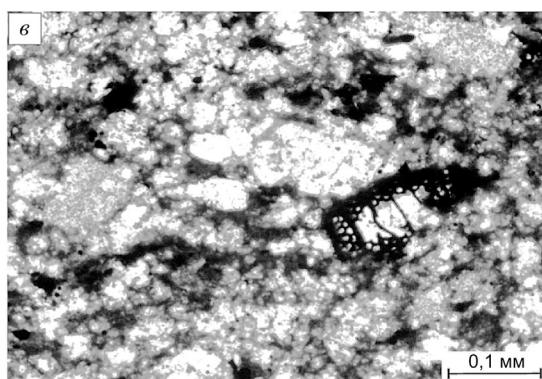
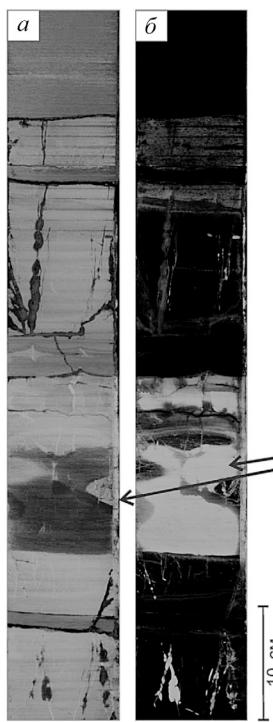
и онколиты. В керне из 4-х скважин обнаружены прослои микробиальных известняков, сохранившие прижизненное положение и характеризующиеся субвертикальной и субгоризонтальной ориентировкой роста дендролитовых и ламинарных типов построек (дендролиты и строматолиты). Текстурные особенности пород (микробиальные желваки), наличие биотурбации и прослоев микробиолитов свидетельствуют о том, что они сформировались в обстановке мелководья и крайнего мелководья со слабой гидродинамикой (т.е. в обстановке литорали).

Изотопный состав углерода и кислорода указывает на то, что они формировались в осадке или на начальных стадиях литогенеза, и практически не отличается от изотопного состава углерода и кислорода кальцита белемнита этого же возраста (значения $\delta^{13}\text{C}$ изменяются от 1,4 до 2,2‰ VPDB; $\delta^{18}\text{O}$ — от -0,9 до 0,1‰ VPDB).

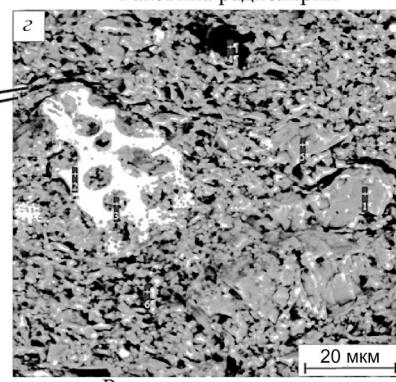
Породы неравномерно кавернозные и трещиноватые, каверны переходят в полости.

Судя по наличию в трещинах кристаллов кварца и результатам изотопного анализа, в некоторых случаях кальцит, выполняющий трещины и каверны, может иметь гидротермальное происхождение, а сами трещины и каверны обладают признаками неравномерного зонального нефтенасыщения.

Контакт с перекрывающими отложениями резкий, эрозионный. Мощность интервала карбонатных пород в среднем составляет 2,5 м.



Раковина радиолярии



Раковина радиолярии

Рис. 5. Фото ЛГТ 3: доломитизированные радиоляриты: *а* — керн в дневном свете; *б* — керн в ультрафиолетовом свете; *в* — шлиф, карбонатная порода с реликтами радиолярий, обогащенная ОВ; *г* — РЭМ, высокоуглеродистая глинисто-кремневая пиритизированная интенсивно доломитизированная порода с раковинами радиолярий

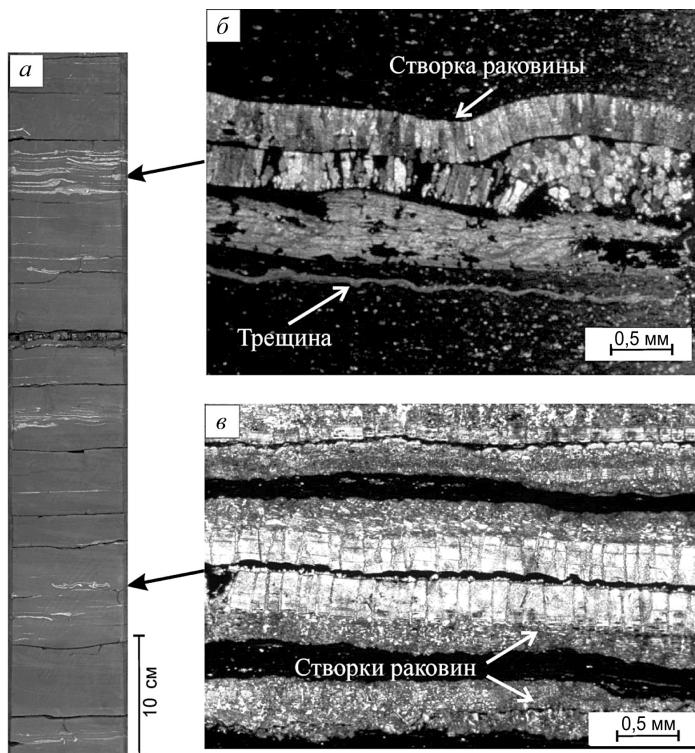


Рис. 6. Фото ЛГТ 4: карбонатно-глинисто-кремнистые породы с раковинами двустворок: *а* — керн; *б* — шлиф, углеродисто-глинисто-карбонатная порода со створками раковин; *в* — шлиф, высокоуглеродисто-глинисто-кремневая пиритизированная и доломитизированная порода со створками раковин

ЛГТ 3. В пачках 1т и 2т тутлеймской свиты карбонатные породы представлены прослоями доломитизированных радиоляриев (рис. 1, 5). Кремнистая составляющая пород часто подвергалась процессам растворения. При изучении методом РЭМ установлены пустоты выщелачивания раковин радиолярий, частые межгранулярные (межмикроагрегатные) открытые поры. Породы пачки 2т отличаются признаками нефтенасыщения (буроватый оттенок, светятся в ультрафиолетовом свете). Толщина прослоев варьирует от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров.

Изотопный состав углерода и кислорода доломитов ($\delta^{13}\text{C}$ от $-3,7$ до $-6,7\text{\textperthousand}$ VPDB, $\delta^{18}\text{O}$ от $-13,93$ до $-14,42\text{\textperthousand}$ VPDB) характеризует их как нормальные морские карбонаты, подвергшиеся диагенетическим и/или катагенетическим преобразованиям.

ЛГТ 4. Пачка 4т характеризуется присутствием большого количества раковин двустворок кальциевого состава, толерантных к окислительным условиям, — *Bucania* и *Inoceramus* (рис. 1, 6) [Ifrim, Götz, 2011]. Количество раковин постепенно возрастает к кровле пачки. На контакте створки раковины и породы формируются послойные микротрещины.

Пачка 5т визуально хорошо диагностируется в керне за счет многочисленных карбонатных стяжений (нодулей) размером несколько сантиметров (рис. 1, 7). Облекание стяжений глинисто-кремнистыми породами свидетельствует о том, что они

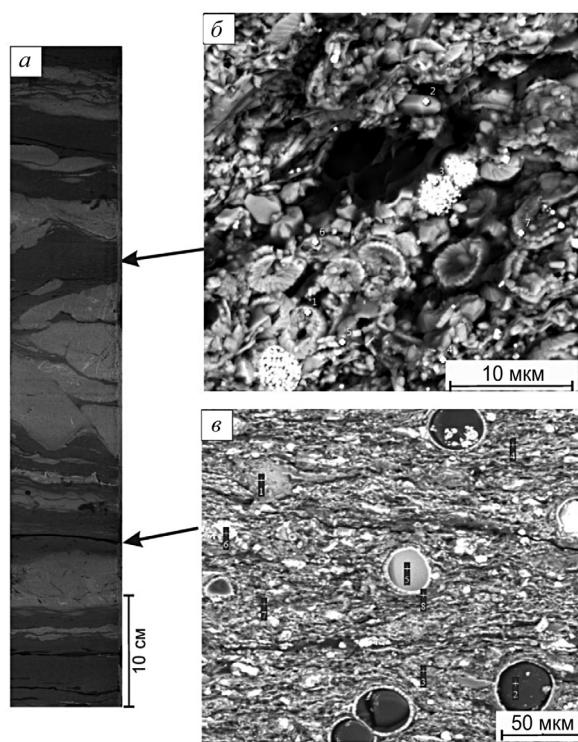


Рис. 7. Фото ЛГТ 5: карбонатные нодули; микробиальные желваки: фитопланктон — кокколитофориды и диноцисты: *а* — керн; *б* — РЭМ, золотистые водоросли-кокколитофориды; *в* — РЭМ, цисты динофитовых водорослей

образовались на ранних стадиях диагенеза, когда глинистый материал еще не утратил способности к пластическим деформациям. Присутствуют также карбонатные желваки, сформированные в результате микробиальной деятельности.

На контакте глинисто-кремнистых и карбонатных пород за счет разной плотности сформировались трещины. При изучении глинисто-кремневых пород в шлифах и методом РЭМ диагностированы цисты динофитовых водорослей и кокколитофориды — золотистые водоросли, скелетные элементы которых имеют кальцитовый состав.

Изотопный состав кальцита $\delta^{18}\text{O}$ меняется в узком диапазоне от $-8,99$ до $-11,6\text{\textperthousand}$ VPDB. Это указывает на относительно повышенные значения температуры его образования по сравнению со значениями температурами в придонных слоях бассейна, а также на образование этого кальцита с участием углекислоты, поступавшей из органического вещества тутлеймской свиты.

ЛГТ 6. В керне из шести скважин в кровле пачки 5т скважин залегает прослой известняка, сложенного спикулами губок (спонголит) (рис. 1, 8).

Порода разбита трещинами хаотичной ориентировки, извилистыми, клиновидными, которые, вероятно, были сформированы на этапе диагенеза при дегидратации осадка. На этапе катагенеза большинство трещин было залечено кальцитом, часть трещин осталась полыми. Мощность карбонатного прослоя 10–15 см.

Перспективные интервалы разреза.

При анализе промысло-геофизических исследований установлено, что основные притоки углеводородов связаны с карбонатными породами абалакской свиты. Септариевые конкреции, представленные изолированными шарообразными телами в толще пород, могут быть перспективны на нефтегазоносность в случае их латеральной связности между собой.

Более 60% притоков получено из карбонатных пород в кровле абалакской свиты. При более детальном изучении самого перспективного интервала разреза установлены макро- и микроскопические признаки субаэральной экспозиции пород (рис. 9) [Потапова и др., 2018]. В породах отмечена брекчированность, характерная для элювиальных брекчий, и остатки корней наземных растений (ризокреции). В шлифах зафиксированы карстовые трещины, заполненные глинистым осадком; многочисленные ризокреции; пресноводные типы цемента, что свидетельствует о том, что их формирование происходило в условиях метеорной вадозной зоны. Таким образом, установлено, что в результате снижения уровня моря известняки литорали были подвержены субаэральной экспозиции, где под влиянием экзогенных процессов формировались разные типы пустот: полости, каверны и трещины.

Заключение. Карбонатные пласты на разных интервалах разреза представлены разными генетическими типами пород. Выявленная закономерность залегания разных генетических типов пород по разрезу установлена в керне из 11 скважин.

По результатам анализа керна и промысло-геофизических исследований выявлено, что основные притоки углеводородов получены из карбонатных пород абалакской свиты.

Септариевые конкреции могут быть перспективны на нефтегазоносность в том случае, если конкреции латерально связаны между собой.

Карбонатные породы кровли абалакской свиты представляют собой наиболее перспективный интервал разреза. Формирование в мелководно-морских обстановках предполагает их относительную выдержанность по латерали. Преобразование пород в условиях

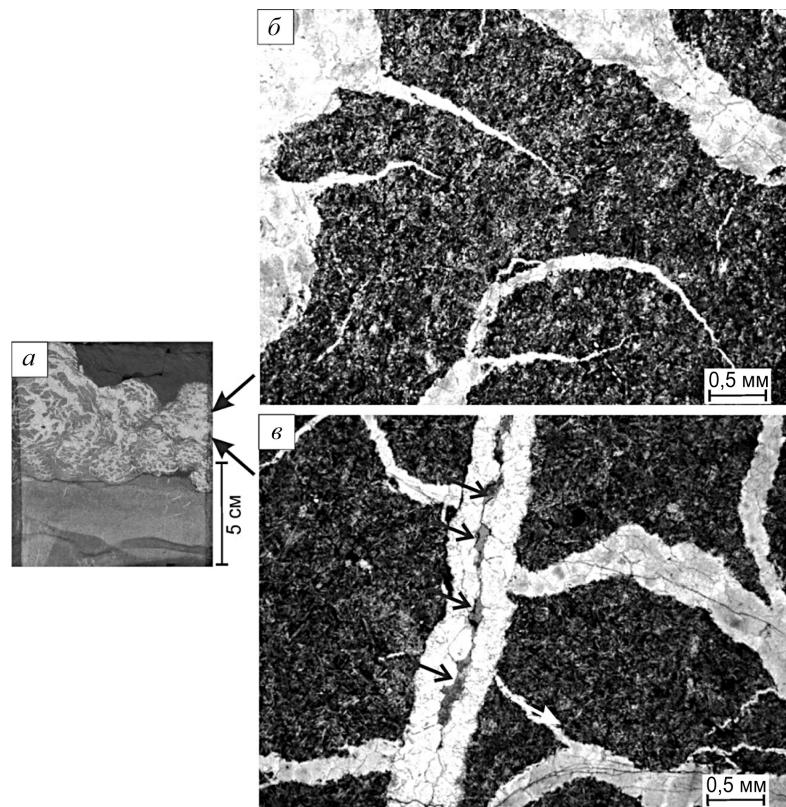


Рис. 8. Фото ЛГТ 6: известняк спикуловый-спонголит: *а* — керн; *б* — шлиф, известняк спикуловый, с залеченными трещинами; *в* — шлиф, известняк спикуловый с открытыми кавернами и порами

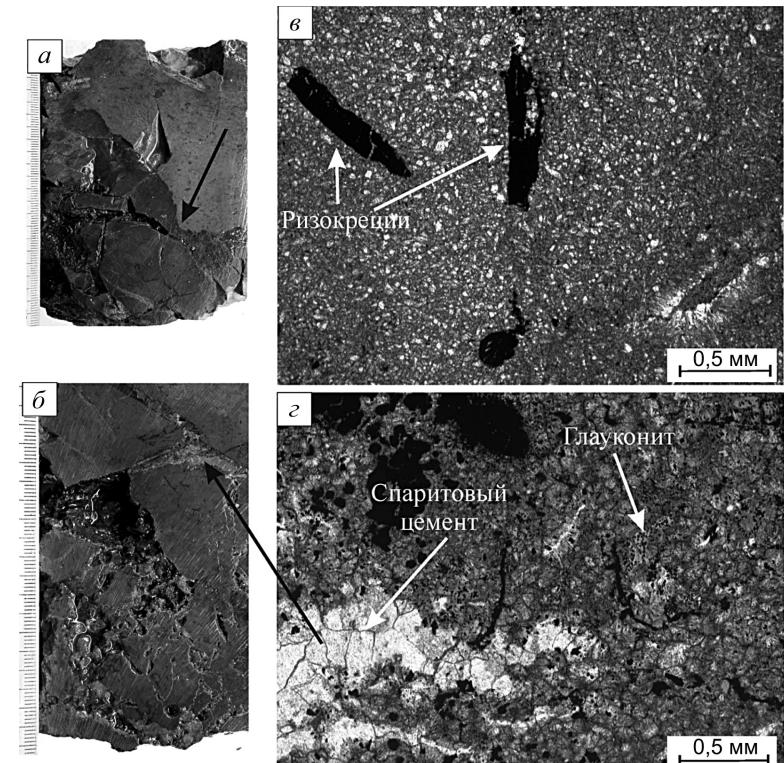


Рис. 9. Фото ЛГТ 2: известняки со структурой вакстоун-мадстоун и известковые мергели: *а* — керн, эрозионный контакт; *б* — керн, известняк трещиновато-кавернозный с полостями; *в* — шлиф, следы корней — ризокреции трубчатых форм; *г* — шлиф, известняк со стяжениями пирита, глауконитом и пустотами залеченные блоковым спаритовым цементом

субаэральной экспозиции обусловило высокий коллекторский потенциал пород.

Основное нефтенасыщение карбонатных пород абалакской свиты связано с разнонаправленными жилами и трещинами и развитыми по ним кавернами, имеющими тектоно-гидротермаль-

ную природу и пересекающими как септариевые конкреции, так и микробиальные известняки. Характер минерализации и нефтенасыщенности трещин позволяют выделить от одной до четырех стадий заполнения их органоминеральным веществом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жуковская Е.А., Вакуленко Л.Г., Ян П.А. Септариевые конкреции в оксфордских отложениях центральных и южных районов Западной Сибири // Уч. зап. Казанского ун-та. Сер. Естественные науки. 2011. Т. 153, кн. 4. С. 211–217.

Потапова А.С., Вилесов А.П., Чертина К.Н. и др. Признаки субаэральной экспозиции на границе абалакской и тутлеймской (баженовской) свит // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 2018. № 11. С. 3–19.

Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (Новосибирск, 2003). Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМСа, 2004. С. 114.

Ifrim C., Götz S., Stinnesbeck W. Fluctuations of the oxygen minimum zone at the end of Oceanic Anoxic Event 2 reflected by benthic and planktic fossils // Geology. 2011. Vol. 39. P. 1043–1046.

Поступила в редакцию 07.10.2018

Поступила с доработки 07.12.2018

Принята к публикации 11.12.2018