

УДК 552.144

DOI 10.47148/0016-7894-2025-4-137-150

Палеокарст и связанные с ним постседиментационные процессы на примере скважины Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции

© 2025 г. | К.Ю. Васильева¹, В.Б. Ершова^{1,2}, К.Ю. Михайлова¹, К.А. Тихонова³, В.А. Колесов^{4,5}, В.Ю. Прокофьев⁶, И.Ю. Бугрова¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет; Санкт-Петербург, Россия; k.vasilyeva@spbu.ru; v.ershova@spbu.ru; mikhalova.ky@gmail.com; i.bugrova@spbu.ru

²Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия;

³ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», Красноярск, Россия; TikhonovaKA@knipi.rosneft.ru

⁴Институт геологии и разработки горючих ископаемых, Москва, Россия; v_kolesov@igirgi.su

⁵ТОО «Азиатский научно-технический центр», Астана, Казахстан;

⁶Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия; vpr2004@rambler.ru

Поступила 13.01.2025 г.

Доработана 20.01.2025 г.

Принята к печати 21.07.2025 г.

Ключевые слова: *рифей; доломиты; постседиментационные изменения; карст; катодолюминесценция; изменения емкостного пространства.*

Аннотация: В статье приведена подробная литологическая характеристика пород верхнеюрбченской толщи рифея, находящихся под поверхностью предвентского несогласия (юго-запад Сибирской платформы, Байкитская антеклиз, Юрубчено-Тохомский ареал нефтегазоаккумуляции). Исследованные породы претерпели различные постседиментационные изменения – перекристаллизацию, окремнение, выщелачивание, дедоломитизацию, образование стилолитовых швов, трещин, заполнение пустот аутигенным кварцем и доломитом. Для исследованного интервала разреза составлена парагенетическая диаграмма постседиментационных изменений и определена их связь с основными этапами тектонической эволюции Байкитской антеклизы. Перекристаллизация, формирование стилолитовых швов, а также, возможно, окремнение связаны с этапами осадконакопления и погружения бассейна. Образование трещин и их заполнение аутигенными минералами отнесены к этапу складчатости. При погружении и складчатости происходит потеря емкостного пространства с образованием плотного практически непроницаемого матрикса. Оставшаяся пористость в породе (1–2 %) обусловлена частичным сохранением межкристаллических пустот небольших размеров. Формирование пустотного пространства, впоследствии заполненного углеводородами, протекало в условиях приповерхностной эрозии, во время которой происходило интенсивное растворение доломита с образованием межкристаллических, внутрикристаллических пустот и трещин. Приведенные материалы по составлению парагенетической диаграммы показывают, что для изученного интервала разреза наиболее перспективными с позиции сохранения фильтрационно-емкостных свойств являются брекчированные участки карстовой зоны.

Для цитирования: Васильева К.Ю., Ершова В.Б., Михайлова К.Ю., Тихонова К.А., Колесов В.А., Прокофьев В.Ю., Бугрова И.Ю. Палеокарст и связанные с ним постседиментационные процессы на примере скважины Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции // Геология нефти и газа. – 2025. – № 4. – С. 137–150. DOI: 10.47148/0016-7894-2025-4-137-150.

Благодарности: Авторы выражают глубокую благодарность рецензенту и редакторам журнала «Геология нефти и газа» за рассмотрение статьи и ее подготовку к публикации.

Paleokarst and associated post-sedimentary processes: example of a well in Yurubcheno-Tokhomsky oil and gas accumulation zone

© 2025 | K.Yu. Vasileva¹, V.B. Ershova^{1,2}, K.Yu. Mikhailova¹, K.A. Tikhonova³, V.A. Kolesov^{4,5}, V.Yu. Prokof'ev⁶, I.Yu. Bugrova¹

¹St. Petersburg State University; Saint-Petersburg, Russia; k.vasilyeva@spbu.ru; v.ershova@spbu.ru; mikhalova.ky@gmail.com; i.bugrova@spbu.ru

²Geological Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

³RN-KrasnoyarskNIPIneft, Krasnoyarsk, Russia; TikhonovaKA@knipi.rosneft.ru

⁴Institute of Geology and Development of Fossil Fuels, Moscow, Russia; v_kolesov@igirgi.su

⁵LLP Asian Scientific and Technical Center, Astana, Republic of Kazakhstan;

⁶Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; vpr2004@rambler.ru

Received 13.01.2025

Revised 20.01.2025

Accepted for publication 21.07.2025

Key words: *Riphean; dolomite; post-sedimentation alterations; karst; cathode-ray luminescence; void space changes.*

Abstract: The authors present a detailed lithological description of the Yurubchensky Formation, Riphean, that occur below the surface of pre-Vendian unconformity (south-west of the Siberian Platform, Baikitsky antecline, Yurubcheno-Tokhomsky area of oil and gas accumulation). The studied rocks have undergone different post-sedimentation transformations, namely: recrystallization, silicification, desalinisation, dedolomitisation, formation of stylolite seams and cracks, filling voids with authigenous quartz and dolomite. A paragenetic diagram of post-sedimentary changes was created for the investigated section interval, and their relationship with the main stages of the Baikitsky antecline tectonic evolution was determined. Recrystallization, stylolitization, and, possibly, silicification are among the processes related to the stages of sedimentation and basin subsidence. Crack formation and filling with authigenous minerals are attributed to the orogeny stage. Loss of void space with formation of tight, virtually impermeable rock matrix is associated with subsidence and folding stages. The remaining rock porosity (1–2 %) is interpreted as resulting from the partial preservation of small intercrystalline voids. The formation of the void space, later filled with hydrocarbons, occurred under near-surface erosion conditions, during which intensive dolomite dissolution caused the formation of intercrystalline and intracrystalline voids and cracks. The presented paragenetic diagram show that, within the studied interval of the section, the brecciated zones of karst are the most favorable for retaining reservoir quality.

For citation: Vasileva K.Yu., Ershova V.B., Mikhailova K.Yu., Tikhonova K.A., Kolesov V.A., Prokof'ev V.Yu., Bugrova I.Yu. Paleokarst and associated post-sedimentary processes: example of a well in Yurubcheno-Tokhomsky oil and gas accumulation zone. *Geologiya nef'ti i gaza*. 2025;(4):137–150. DOI: 10.47148/0016-7894-2025-4-137-150. In Russ.

Acknowledgments: The authors express their sincere gratitude to the reviewer and the editors of Oil and Gas Geology for their careful review of the manuscript and assistance in preparing it for publication.

Введение

Протерозойские нефтегазоносные системы привлекают внимание исследователей по всему миру — на Ближнем Востоке [1], в Западной Африке, Северной Америке и Австралии [2], а также в Китае [3]. В России примером протерозойского нефтегазогеологического объекта является Юрубчено-Тохомская зона нефтегазоаккумуляции (юго-запад Сибирской платформы) (рис. 1), которая является моделью и образцом изучения для других потенциальных зон нефтегазоаккумуляции в пределах Сибирской платформы.

Рассматриваемые отложения представляют собой сложнопостроенный карбонатный коллектор. Его карбонатная матрица практически непроницаема, хотя присутствуют отдельные проницаемые уровни, связанные с трещиноватостью и брекчированными участками как вблизи эрозионной границы между отложениями рифея и венда, так и на удалении от нее. За всю историю геолого-разведочных работ и последующей разработки месторождений, расположенных на территории Юрубчено-Тохомской зоны, неоднократно были встречены дезинтегрированные зоны с провалом бурового инструмента и аномальными поглощениями бурового раствора непосредственно ниже границы несогласия. На текущий момент остаются невыясненными вопросы происхождения и пространственного распространения таких разуплотненных интервалов, имеющих большое значение при планировании работ. Предшествующие исследования предполагали карстовую модель развития коллектора в рифейских породах Байкитской антеклизы [4].

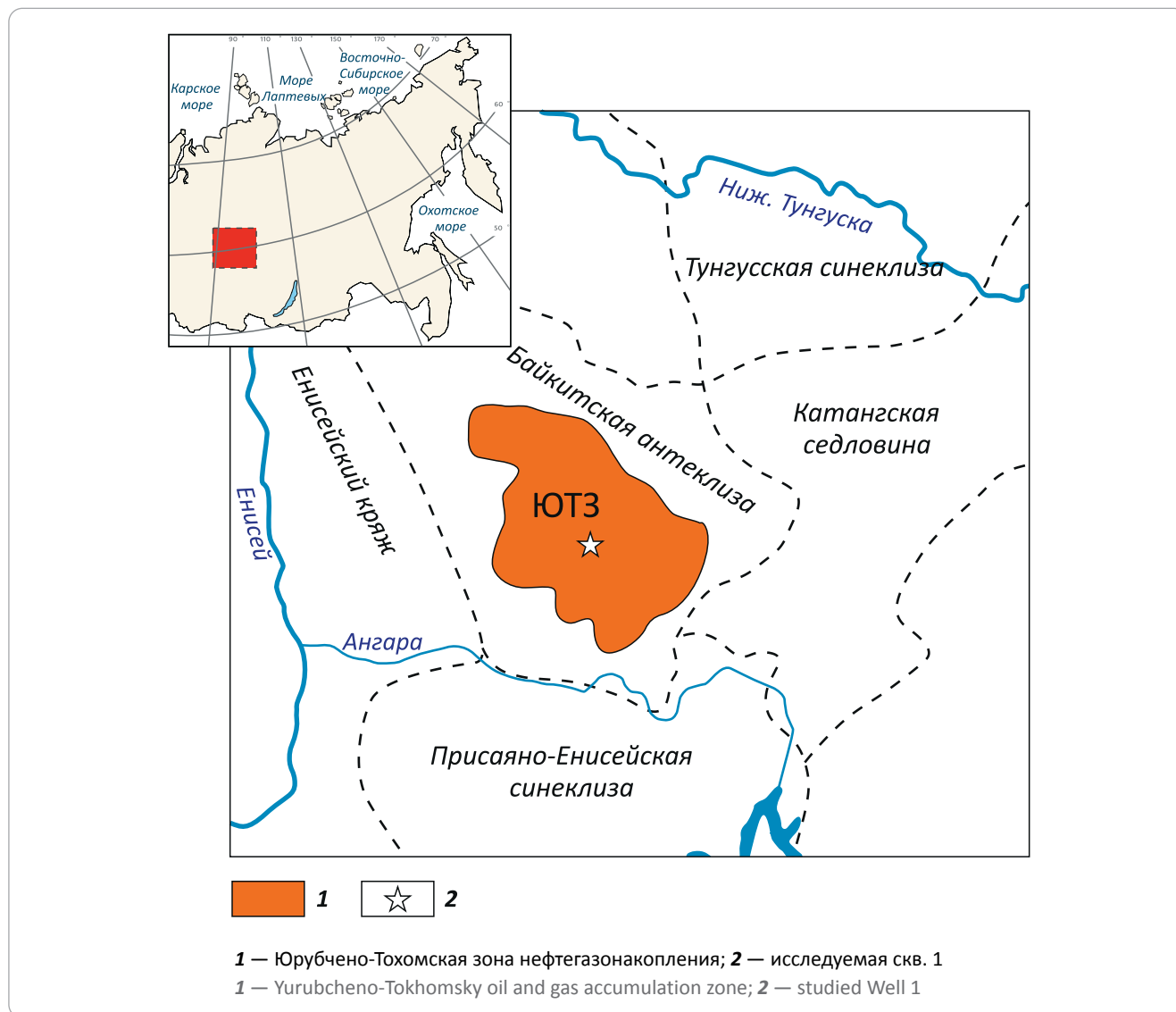
Отложения Юрубчено-Тохомской зоны считаются повсеместно трещиноватыми (средняя плотность — 3 трещины на 1 м²). При этом анализ керн свидетельствует, что следы УВ встречаются довольно редко. Результаты испытаний в интервале коллектора показывают высокую изменчивость деби-

тов по площади — от отсутствия притока до 658 т/сут.

Цели настоящего исследования: подробное описание постседиментационных изменений карбонатных пород в брекчированных, трещиноватых и массивных участках разреза одной скважины, составление парагенетической диаграммы, выявление связи основных постседиментационных изменений с тектонической эволюцией Байкитской антеклизы для определения относительного времени формирования коллекторских свойств.

Геологическая позиция исследуемого региона

Район исследования расположен в центральной части Байкитской антеклизы (см. рис. 1). Здесь породы осадочного чехла несогласно перекрывают кристаллический фундамент архей-раннепротерозойского возраста [5]. Осадочный чехол сформирован преимущественно карбонатными отложениями рифея (камовская серия), венда и палеозоя. По литологическим признакам, палеонтологическим находкам и геохимическим характеристикам камовская серия разделена на 12 толщ, максимальная общая мощность пород рифея составляет 4 км [6, 7]. В основании рифейского разреза залегает зелендуконская толща терригенного состава, которую перекрывают существенно глинистые высокоуглеродистые вздрэшевская и мадринская толщи (нижний рифей). Отложения вышележащих толщ можно разделить на преимущественно карбонатные (юрубченская, куюмбинская, юктенская, вингольдинская), глинисто-карбонатные (долгоктинская, рассолкинская, ирэмэкенская) и преимущественно глинистые (копчерская, токурская). В строении карбонатных отложений принимают участие массивные, оолитовые, интракластовые, пелоидные, строматолитовые доломиты, сформированные в эпиконтинентальном морском бассейне [4, 7, 8]. Возраст отложений Байкитской антеклизы оценен по комплексу изотопных методов. Так, ⁴⁰Ar-³⁹Ar-ме-

Рис. 1. Схема геологического районирования юго-запада Восточно-Сибирской платформы**Fig. 1.** Scheme of geological zoning of south-western part of the East Siberian Platform

тодом получен возраст 1499 ± 43 млн лет долеритовых силлов в песчаниках зелендуконской толщи, и на основании этого определено начало седиментации камовской серии на уровне 1500–1550 млн лет [9]. Данные углеродной изотопной хемотратиграфии карбонатных пород, предложенные Е.М. Хабаровым, показывают, что породы от зелендуконской до вингольдинской толщ мезопротерозойские, в то время как токурская и ирэмэкэнская толщи, видимо, мезо-неопротерозойские [7]. Конец осадконакопления камовской серии относят к началу воздымания территории, происходившего 800–630 млн лет назад [10, 11]. При воздымании и формировании тектонического плана региона породы были смяты в пологие складки с углом падения крыльев до $40-50^\circ$ [12], при этом часть осадочного разреза была эродирована так, что на предвендскую поверхность были выведены разные стратиграфические уровни рифейских отложений, которые подверглись активному выщелачиванию и карстообразованию [13].

Рифейские отложения с несогласием перекрываются терригенными, карбонатными и сульфатными отложениями венда, которые включают пять свит — ванаварскую, оскобинскую, катангскую, собинскую и тэтэрскую.

Материалы и методы исследования

Анализ влияния приповерхностных процессов на исследуемой территории проведен на керновом материале скв. 1, расположенной на территории Юрубчено-Тохомской зоны (см. рис. 1). Для ее изучения был выполнен следующий комплекс исследований.

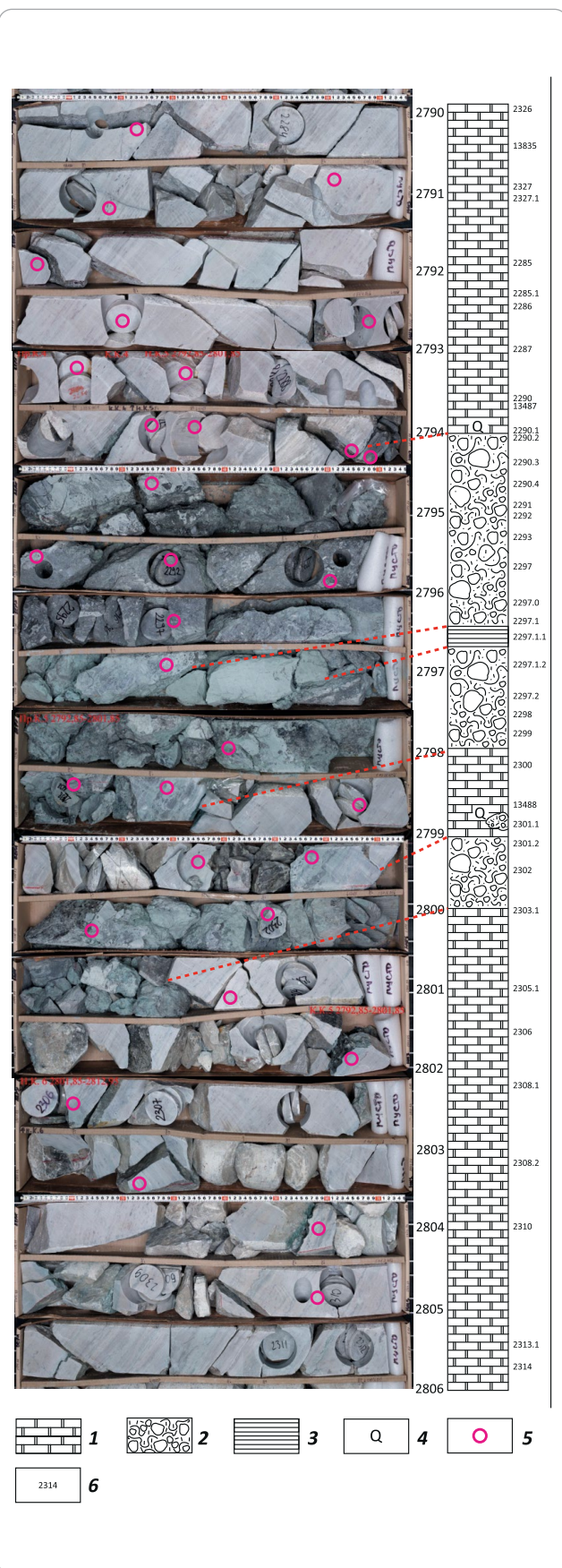
1. Послойное описание керна в интервале 2790–2806 м.

2. Рентгенофазовый анализ (РФА) для определения соотношения минеральных компонентов проводился на рентгеновском дифрактометре RIGAKU Ultima IV с реализацией съемки рентгенограмм в геометрии Брэгга-Брентано (материал анод



Рис. 2. Разрез в интервале 2790–2806 м скв. 1
Юрубчено-Тохомской зоны

Fig. 2. Geological column in the interval 2790–2806 m, 1 Well,
Yurubcheno-Tokhomsky Zone



Усл. обозначения к рис. 2

Legend for Fig. 2

1 — доломит; 2 — зона карста; 3 — глина; 4 — окварцевание; 5 — места отбора; 6 — номера образцов.

Наращивание колонки происходит слева-направо и сверху-вниз, длина коробки — 75 см

1 — dolomite; 2 — karst zone; 3 — clay; 4 — silicification; 5 — sites of sampling; 6 — sample No.

Depth increases from left to right and from top to bottom, core box is 75 long

Си). Рабочий режим: 40 кВ, 30 мА, в интервале углов съемки 2θ от 3 до 65° с шагом сканирования $0,02^\circ$ в непрерывном режиме. Обработка дифрактограмм производилась в ПО PDXL, Traces V6, SiroQuant с использованием цифровой базы данных рентгеновской порошковой дифрактометрии PDF2 Международного центра дифракционных данных (ICDD). Всего был исследован 21 образец.

3. Петрографические и катодолюминесцентные исследования непокрытых прозрачно-полированных шлифов (21 шлиф) с использованием микроскопа Olympus BX-53 и катодолюминесцентной приставки CITL-5. Параметры наблюдения: напряжение 324 кВ, ток 6–13 мА, остаточное давление в вакууме 0,003 Мбар в автоматическом режиме. При петрографическом изучении шлифов выполнено описание породообразующих компонентов, текстуры, структуры, цвета и характера катодолюминесцентного свечения. На основе пространственных взаимоотношений границ минералов между собой и типа КЛ-свечения были выделены генерации карбонатных минералов и установлена последовательность развития постседиментационных преобразований в породах [14]. Для характеристики емкостного пространства была использована классификация, предложенная Шокеттом и Преем [15].

4. Термобарометрические исследования двухфазных газово-жидких включений, выполненные в лаборатории геохимии ИГЕМ РАН. Анализ включений проведен при помощи измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam (Великобритания), микроскопа Olympus BX51, видеокамеры и управляющего компьютера. Использование указанного измерительного комплекса позволяет наблюдать фазовые переходы во включениях в интервале температур от -196 до 600°C и при больших увеличениях, получать цифровые микрофотографии. Точность измерения температур гомогенизации составляет $\pm 1^\circ\text{C}$, а температур плавления льда — $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Концентрация солей растворов включений рассчитывалась по температуре растворения кристалла льда с использованием данных для системы $\text{CaCl}_2\text{--H}_2\text{O}$ и $\text{NaCl--H}_2\text{O}$. Солевой состав растворов определялся по температурам эвтектики [16]. Кон-

центрация солей и плотность флюида оценивались с использованием программы FLINCOR [17].

Характеристика геологического разреза исследуемой скважины

В исследуемой скв. 1 вскрыт брекчированный участок в юрубченской толще ниже поверхности предвендского несогласия на 13,8 м. Для подробной его характеристики был выбран 16-метровый участок керна, охватывающий как брекчированную зону, так и вмещающие породы (рис. 2). В этой скважине рифейские отложения перекрыты отложениями оскобинской свиты венда, сложенной преимущественно доломитами с редкими прослоями терригенных и сульфатных пород.

Литологический состав исследованного разреза

В исследованном интервале выделено два типа пород. Первый представлен массивными доломитами различной структуры. Второй сложен сильно разуплотненными породами брекчиевидного облика.

Массивные доломиты

Большинство изученных образцов представлено кристаллическими доломитами, сложенными плотно прилегающими кристаллами доломита размером 30–100 мкм, с темно-красной незональной катодолюминесценцией. Участки со строматолитовой структурой представлены ламинарным чередованием скрытокристаллических доломитов и доломитов с более крупными кристаллами (до 20 мкм) и характерными изогнутыми поверхностями напластования. Пелоидные доломиты встречаются в ассоциации со строматолитовыми доломитами. Они представлены вакстоунами, в которых пелоиды частично раскристаллизованы и по катодолюминесцентному свечению неотличимы от матрикса пород. В некоторых образцах описаны удлиненные субгоризонтальные (длиной от 0,5 до 2 см) поры, которые, возможно, являются фенестрами (рис. 3 С), сформированными на стадии осадконакопления. Минеральное заполнение фенестр представлено либо доломитом с крупными прозрачными кристаллами с зональным красно-желтым катодолюминесцентным свечением, либо кварцем. Данные рентгенофазового анализа показывают, что породы сложены преимущественно доломитом (73–99 %, в среднем 80 %) и кварцем (1–45 %, в среднем — 15 %), при этом количество кварца повышается в окремненных разностях. Примесь песчаных обломочных зерен составляет менее 1 % в интервалах массивных пород, обломочные зерна представлены кварцем.

Вторичные изменения, характерные для участков массивных доломитов, следующие:

- перекристаллизация, которая выражается в неравномерном изменении размера кристаллов доломита матрикса, при этом образуются крупные (более 20 мкм) кристаллы с незональным катодолюминесцентным свечением;

- окремнение, проявленное в заполнении пустот кварцем и халцедоном, при этом халцедон заполняет мелкие пустоты, в то время как кварц — крупные (рис. 4 В);

- образование зубчатых или прямоугольных стилолитовых швов (см. рис. 4 В);

- заполнение пустот и трещин крупными прозрачными кристаллами доломита с зональным катодолюминесцентным свечением от ярко-желтого до бурого цвета. Ориентация трещин различная, встречаются трещины как секущие слоистость (субвертикальные и наклонные), так и субгоризонтальные, полностью или частично заполненные доломитом, кварцем (см. рис. 4 В, С, D).

Брекчированные доломиты

В пределах брекчированных участков породы обладают грубообломочной структурой, размерность от алевритовой до гравийной (максимальный размер обломков в шлифах — 5 мм). Мелкие обломки сложены кварцем, крупные представляют собой фрагменты тонкослоистых кремней, часто трещиноватых. Трещины внутри обломков кремней заполнены крупными кристаллами кварца (с битумными пленками по границам кристаллов). Пространство между обломками выполнено кристаллическим идиоморфным пористым доломитом. Доломитовый матрикс, заполняющий пространство между обломками, по катодолюминесцентным характеристикам близок к доломиту из участков массивных пород, однако на участках брекчированных доломитов присутствуют многочисленные межкристаллические и внутрикристаллические пустоты, часто заполненные битумом (см. рис. 4 D, E). Для уровней развития брекчированных участков данные РФА показывают увеличение доли кварца (9–60 %, в среднем 30 %, табл. 1), который слагает обломки кремней гравийного размера и песчаные зерна. Также в этом интервале отмечается появление иллита (до 6,4 %, в среднем — 3 %). Для брекчированных участков характерны следующие постседиментационные изменения:

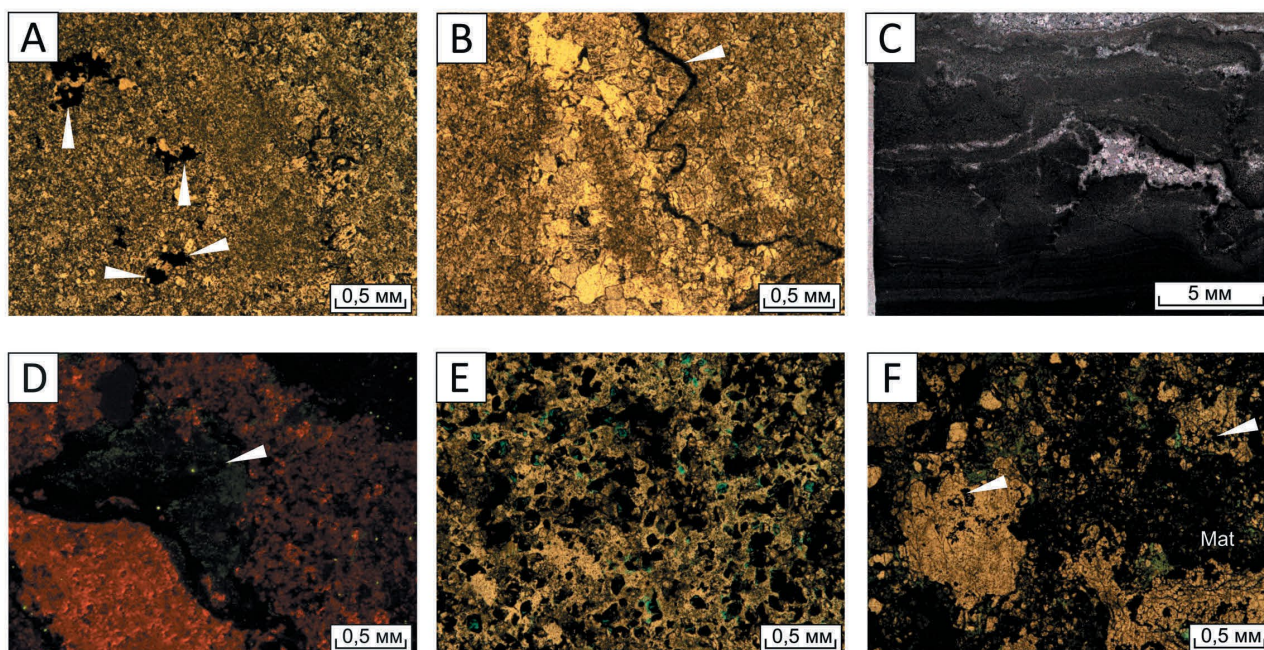
- окремнение пород данного уровня определяется косвенно по присутствию обломков, сложенных слоистыми силицитами, и участками трещин, заполненных аутигенным кварцем (см. рис. 4 А);

- образование гидротермальных доломитов выражается в залечивании трещин и пустот частично или полностью крупными идиоморфными кристаллами доломита с концентрически-зональным катодолюминесцентным свечением от желтого до темно-бордового цвета;

- дедоломитизация (в трещинных доломитах) — явление разрушения исходных кристаллов доломита и замещения доломита кальцитом [18, 19]. Этот процесс хорошо виден на примере образца 2297,2, где на катодолюминесцентном снимке угадываются форма и зональность кристалла доломита, хотя внутренняя структура сильно нарушена (см. рис. 4 Е);



Рис. 3. Фотографии шлифов, иллюстрирующие типы пустот и распределение в них ОВ
Fig. 3. Thin section images illustrating void types and OM distribution in them



Образцы из массивных доломитов (А–С): А — образец 2267, без анализатора (белые стрелки — межкристаллические пустоты, заполненные ОВ), В — образец 2376, без анализатора (белая стрелка — стилолитовый шов, заполненный ОВ), С — образец 2305.1, без анализатора (темные участки — микрокристаллический доломит, светлые участки — предполагаемые фенестры); образцы из зоны брекчированных доломитов (D–F): D — образец 2297.1, при КЛ-свечении (белая стрелка — примазки битумов, заполняющие трещину (обладают зеленоватым КЛ-свечением)), Е — образец 2299, без анализатора (светлые участки — доломит, голубые участки — незаполненные поры, черные участки — пустоты, образовавшиеся при выщелачивании кристаллов доломита, заполненные битумами), F — образец 2301.2, без анализатора (наиболее светлые участки — обломки кремней, белые стрелки — битумные пленки, находящиеся в трещинах внутри зерен кварца, черные участки — битумы, находящиеся в межкристаллических порах внутри выщелоченного доломитового матрикса (Mat), голубые участки — незаполненные поры)

Samples of massive dolomite (A–C): A — sample 2267, plane polarized light, white arrows point to intercrystalline voids filled with OM, B — sample 2376, plane polarized light, white arrow points to stylolite seam filled with OM; C — sample 2305.1, plane polarized light, dark-coloured areas — microcrystalline dolomite, light-coloured areas — supposed fenestras; samples from the zone of brecciated dolomite (D–F): D — sample 2297.1, in CL light, white arrow points to bitumen spots filling a crack (have a greenish CL fluorescence); E — sample 2299, plane polarized light, light-coloured areas — silicified dolomite, blue-coloured areas — unfilled pores, black-coloured areas — bitumen-filled voids resulting from dolomite crystals leaching; F — sample 2301.2, plane polarized light, the lightest areas — siliceous fragments, white arrows point to bitumen films in cracks inside quartz grains, black-coloured areas — bitumen in intercrystalline pores inside leached dolomite matrix (Mat), blue-coloured areas — unfilled pores

– выщелачивание выражается в разрушении кристаллов доломита, образовании пористого матрикса и увеличении количества нерастворимых компонентов (обломков кремней и кварца).

Типы емкостного пространства и положение ОВ (битума)

Типы пустот и распределение в них ОВ различаются на участках массивных и брекчированных доломитов. Пустоты в массивных доломитах межкристаллические в матриксе (не более 1 % площади шлифа) или в частично заполненных в кавернах и трещинах (до 1–2 % площади шлифа). В этих породах ОВ скапливается преимущественно внутри стилолитовых швов и (редко) в межкристаллических пустотах, оставшихся при неполном заполнении пустот крупнокристаллическим доломитом (см. рис. 3). Такие пустоты секут первично осадочные структуры, поэтому их формирование не имеет прямой связи с процессами осадконакопления.

Емкостное пространство, сформированное на этапе осадконакопления (фенестры, см. рис. 3 С), заполнено доломитом и кварцем. Количество ОВ в интервале массивных пород не превышает 1–2 % площади шлифа.

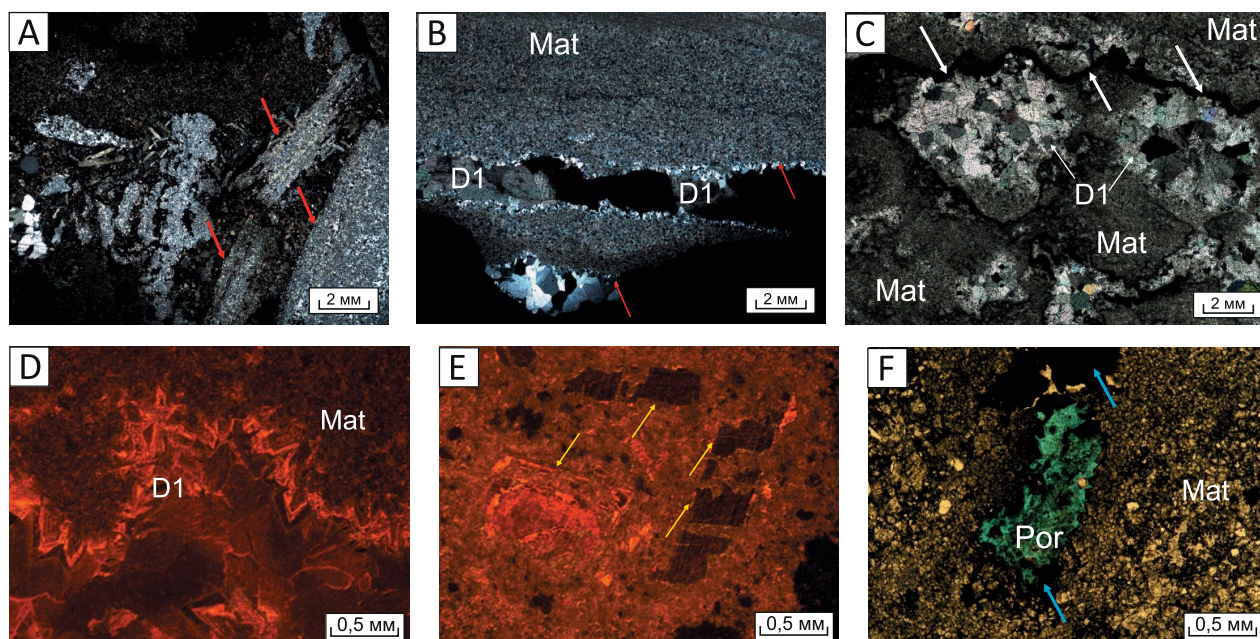
Внутри брекчированных участков ОВ скапливается в межкристаллическом и межзерновом пространстве, внутри обломков кремней и в изогнутых удлиненных полостях (трещинах), а также в пустотах, по форме напоминающих выщелоченные кристаллы доломита (см. рис. 3 Е). В наиболее насыщенных образцах количество ОВ достигает 15–20 %, при этом общее емкостное пространство составляет 20–25 %.

Термобарометрия газово-жидких включений

В зернах доломита встречены первичные и вторичные двухфазовые флюидные включения с небольшим (5–10 %) объемом газовых пузырьков.

Рис. 4. Петрографические и катодолуминесцентные характеристики исследованных образцов

Fig. 4. Petrographic and CL characteristics of the sample studies



А — образец 2293, с анализатором, кремниевая брекчия (красные стрелки — обломки слоистых кремнистых пород) с доломитовым цементом, В — образец 2314, с анализатором (Mat — вмещающий тонкокристаллический доломит, пустоты последовательно заполнены мелкокристаллическим кварцем (красные стрелки) и крупнокристаллическим доломитом D1), С — образец 2308,2, с анализатором (Mat — вмещающий тонкокристаллический доломит, пустоты в котором заполнены крупнокристаллическим доломитом D1, который срезается стилолитовыми швами, заполненным ОВ (белые стрелки)), D — образец 2327 при катодолуминесцентном свечении (Mat — тонкокристаллический доломит с темно-бордовым катодолуминесцентным свечением, D1 — доломит с зональным свечением (от желтого до красного цвета), заполняющий трещины, E — образец 2297,2, при катодолуминесцентном свечении, крупный дедоломитизированный кристалл доломита (желтые стрелки — фрагменты), F — образец 2297,1, без анализатора, участок породы из зоны брекчии (Mat — тонкокристаллический доломит, Por — незаполненная пустота, синий стрелкой показаны участки, заполненные битумами)

A — sample 2293, plane polarized light, siliceous breccia (red arrows point to fragments of laminated siliceous rocks) with dolomitic cement; B — sample 2314, plane polarized light, Mat — host fine-crystalline dolomite, voids are sequentially filled with microcrystalline quartz (red arrows) and coarse-crystalline dolomite D1; C — sample 2308,2, plane polarized light, Mat — host fine-crystalline dolomite with voids filled with coarse-crystalline dolomite D1, which is truncated by stylolite seams filled with organic matter (white arrows); D — sample 2327, in CL light, Mat — fine-crystalline dolomite with dark-red CL light, D1 — dolomite with zonal fluorescence (from yellow to red), filling cracks; E — sample 2297,2, in CL light, large dedolomitized dolomite crystal (yellow arrows point to fragments); F — sample 2297,1, plane polarized light, segment of rock from breccia zone, Mat — fine-crystalline dolomite, Por — unfilled void, blue arrow points to bitumen-filled areas

Первичная природа флюидных включений определена по их равномерному распределению в объеме минерала-хозяина или приуроченности к зонам роста [20]. Вторичные включения тяготеют к секущим трещинам. Размер включений составляет 8–15 мкм.

Термо- и криометрические исследования 7 первичных флюидных включений в доломите (табл. 2) показали, что они содержат жидкость с высокой концентрацией солей, замерзающую при температуре -80°C . Эта жидкость представляет собой водный раствор хлоридов Ca, Mg и Na, о чем свидетельствует низкая температура эвтектики раствора (-55°C). Температура гомогенизации первичных двухфазовых включений составляет $98\text{--}138^{\circ}\text{C}$, а концентрация солей — $21,6\text{--}22,8$ мас. %-экв. CaCl_2 . Плотность флюида $1,09\text{--}1,13$ г/см³.

Результаты термо- и криометрических исследований 14 вторичных флюидных включений в доломите (см. табл. 2) показали, что жидкость в них

замерзает при температуре от -60 до -70°C . Температура гомогенизации вторичных двухфазовых включений типа 1 составляет $78\text{--}118^{\circ}\text{C}$, а концентрация солей — $5,6\text{--}12,9$ мас. %-экв. NaCl . Плотность флюида $0,99\text{--}1,04$ г/см³.

Обсуждение результатов

Последовательность и обстановки постседиментационных процессов

Исследованные породы рифея Байкитской антеклизы несут следы многочисленных постседиментационных процессов, происходивших на разных этапах развития региона и оказавших различное влияние на фильтрационно-емкостные свойства пород (рис. 5, 6). Связь этапности геологического развития региона, последовательность постседиментационных преобразований и их влияние на формирование емкостного пространства приведены на рис. 6.

**Табл. 1.** Результаты изучения минерального состава рентгенофазовым анализом

Tab. 1. Results of mineral composition studies using X-ray Diffraction Analysis

Порядковый номер	Номер образца	Глубина отбора, м	Породообразующие минералы и их содержание, %			
			Кварц	КПШ	Доломит	Мусковит/иллит
1	2267	2781,95	1	2,2	95,8	1
2	13834	2784,7	24,6	0	75,4	0
3	2327	2790,91	6,2	0	93,8	0
4	2286	2792,52	18,4	0	81,6	0
5	2290,1	2794,01	22,2	0	77,8	0
6	2290,2	2794,03	48,4	0	51,6	0
7	2290,3	2794,37	15,8	0	82,6	1,6
8	2293	2795,35	22,5	0	74,7	2,8
9	2297	2795,74	25,4	0	68,2	6,4
10	2297,1	2796,46	42,1	0	51,6	6,3
11	2297,2	2797,35	16,1	0	79,7	4,2
12	2299	2797,84	58,8	0	39,5	1,7
13	2300	2798,23	35,7	0	64,3	0
14	2301,1	2798,95	8,7	0	86,5	4,8
15	2301,2	2799,15	11,1	2,2	82,3	4,4
16	2303,1	2800,14	1,2	0	98,8	0
17	2305,1	2800,97	3,1	0	96,9	0
18	2308,1	2802,78	1,9	0	98,1	0
19	2308,2	2803,82	1,4	0	98,6	0
20	2313,1	2806,15	22,2	0	77,8	0
21	2314	2806,45	19	0	81	0

Табл. 2. Результаты исследования первичных и вторичных флюидных включений в доломите

Tab. 2. Results of studies of primary and secondary fluid inclusions in dolomite

Номер пробы	Генетический тип включений	<i>n</i>	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{эвт}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. льда}}, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{солей}}$ мас. % экв. NaCl	$d, \text{г/см}^3$
2314	1 П	5	96	-56	-24,7	22,8	1,13
2308,2	1 П	2	138	-56	-22,5	21,6	1,09
	1 В	3	118	-38	-9	12,9	1,04
	1 В	3	109	-55	-3,5	5,6	0,99
	1 В	3	109	-44	-5,3	8,2	1,01
	1 В	5	78	-44	-4,5	7,1	1,02

Примечание. П — первичные, В — вторичные, 1 — двухфазовые газовой-жидкие включения.

Note. П — primary, В — secondary, 1 — two-phase (gas and liquid) inclusions.

1. Рифей. Осадконакопление и погружение пород. Накопление доломита в рифейское время происходило в пределах широкой карбонатной платформы, на глубине не более 45 м [8]. Значительное влияние на осадконакопление оказывало присутствие строматолитовых построек. Этапы периодических кратковременных осушений маркировались привнесом терригенного материала и срезанием стро-

матолитовых слоев. На этапе раннего диагенеза происходило частичное окремнение, приводившее к образованию тонкослоистых кремнистых пород, фрагменты которых описаны авторами статьи в интервале брекчированных доломитов (см. рис. 4 А). Часто такие горизонтально-слоистые кремнистые прослои связаны с окремнением строматолитовых прослоев [21].

Рис. 5. Распределение постседиментационных изменений по исследованному разрезу скв. 1

Fig. 5. Post-sedimentation transformation occurrence in the studied 1 Well column

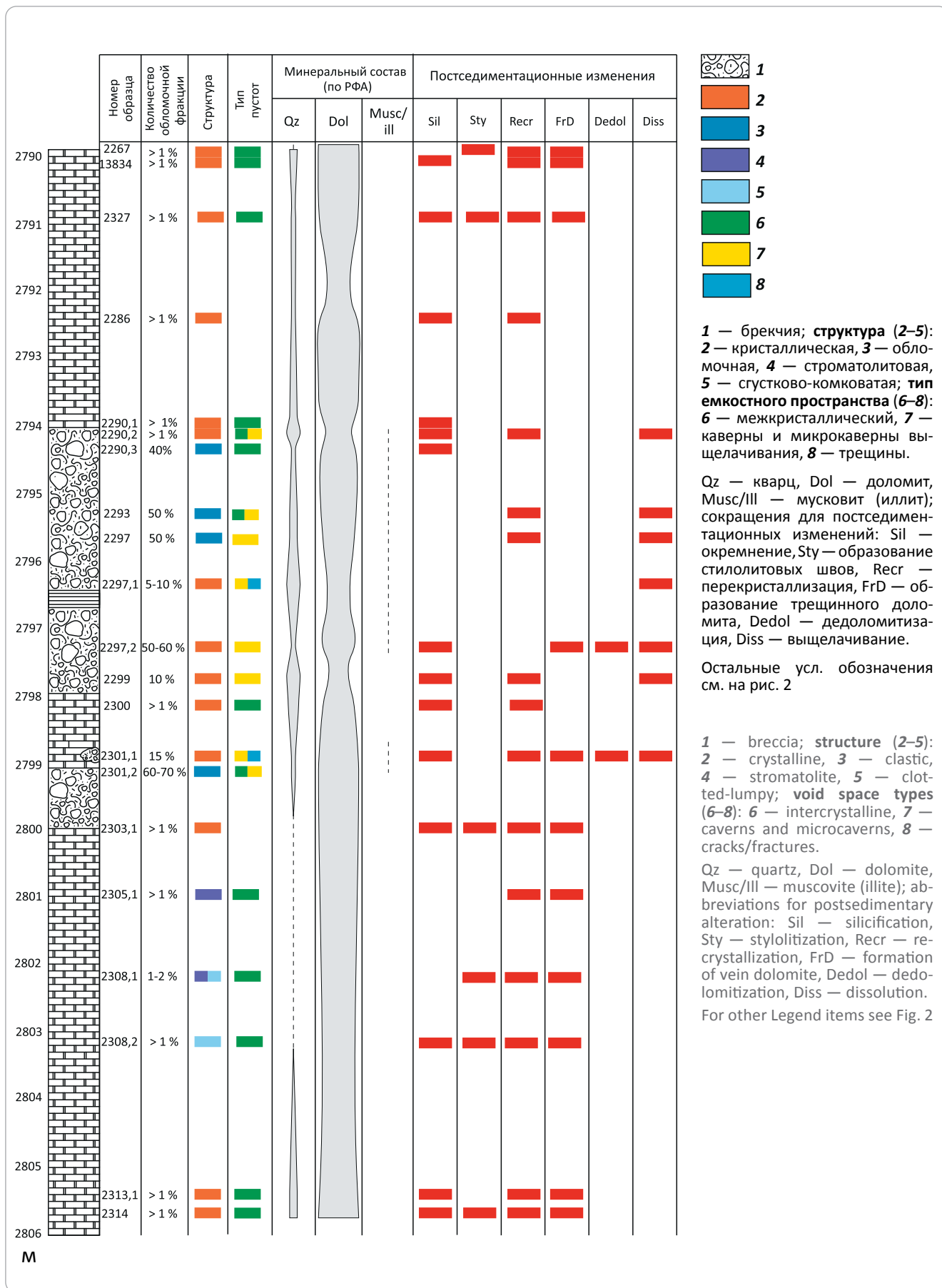
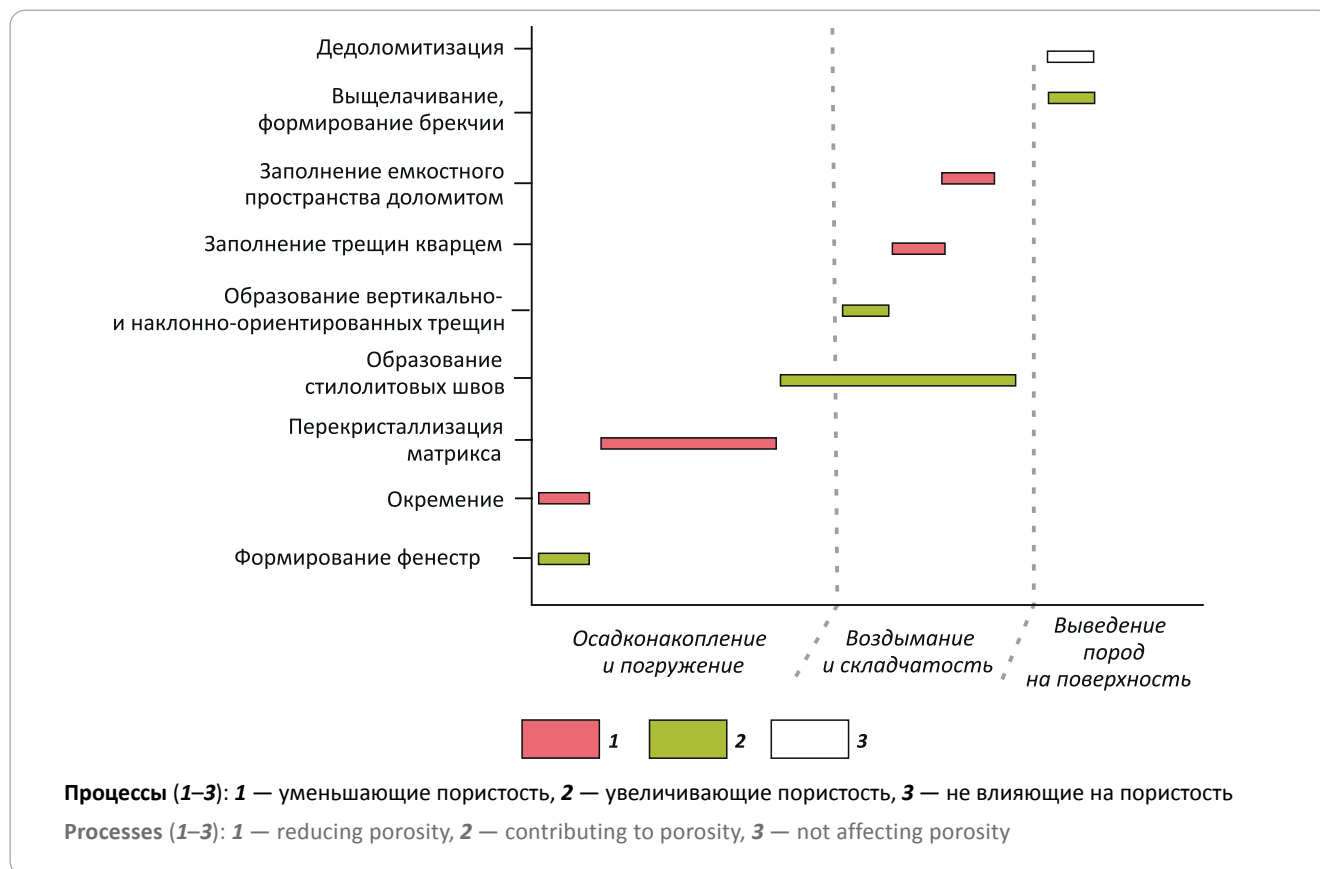




Рис. 6. Схема временных отношений постседиментационных изменений, описанных в исследованном интервале пород рифея, и связь этих изменений с этапами изменения емкостного пространства

Fig. 6. Scheme of time correlations of post-sedimentation transformations described in the studied Riphean interval, and association of these transformations with the stages of void space transformations



Конец рифея – венд. Воздымание и складкообразование. Длительное погружение пород рифея Байкитской антеклизы завершилось примерно 800 млн лет назад [10] в связи с началом тектонических событий в пределах Енисейского кряжа. В это время породы Байкитской антеклизы претерпели складкообразование, растрескивание и заполнение трещин высокотемпературными (по данным авторских термобарометрических исследований 80–140 °C) генерациями доломита и кварца. Кристаллы аутигенного кварца инкрустируют стенки трещин как субвертикальных и наклонных, так и субгоризонтальных, появившихся, возможно, из седиментационных пор (фенестр) или стилолитовых швов. Доломит, заполняющий пустоты после аутигенного кварца, может быть отнесен к гидротермальному. Его катодолюминесцентные свойства похожи на гидротермальные доломиты, связанные с высокотемпературными (выше 50 °C) процессами на этапе погружения пород в зоне катагенеза и/или тектоническими процессами [22, 23]. Данные термобарометрических исследований, выполненных для трещинных доломитов, показывают температуру их образования в диапазоне 80–140 °C из высокоминерализованных флюидов (соленость составляла 5,6–22,8 мас.-%-экв NaCl).

Временные соотношения формирования стилолитовых швов и других постседиментационных процессов определяются неоднозначно. Стилолитовые швы срезают и кристаллы матрикса крупнее 20 мкм (т. е. уже подвергшиеся перекристаллизации) и трещинные генерации доломита (см. рис. 4 С). Это означает, что стилолитовые швы могли образовываться как при погружении, так и после образования трещинных генераций доломита (см. рис. 6).

Резюмируя вышеизложенное, можно говорить о формировании пустотного пространства на стадии седиментации, которое на этапах погружения и складчатости было уничтожено гидротермальным доломитом и кварцем в результате перекристаллизации, окремнения. Для этого этапа характерно образование лишь небольших по объему межкристаллических пустот, оставшихся при неполном заполнении трещин. Доля таких пустот, заполненных битумами, для описанного интервала не превышает 1–2 % породы.

2. Венд. Выведение пород на поверхность и эрозия. Дедоломитизация, происходившая после образования трещинных генераций доломита, отмечена в двух образцах. Один образец был отобран в зоне брекчирования, другой — неизмененных по-

род. Дедоломитизация проявляется в разрушении кристаллов трещинного доломита и замещении их кальцитом и часто она видна на катодолюминесцентных фотографиях, благодаря нарушению концентрической зональности (см. рис. 4 Е). Дедоломитизация и карстообразование были связаны и представляли собой результаты взаимодействия с метеорными водами и выщелачивания. Изученные брекчированные породы могут быть продуктом карстообразования. Учитывая, что зона карста располагается близко к предвендскому несогласию (в пределах 15 м), а в образцах брекчированных участков не найдено следов сульфидных минералов и скаленоэдрических кристаллов кальцита, которые обычно сопровождают глубинный карст [24, 25], карстообразование можно связать с приповерхностными процессами растворения во время предвендской пенеппенизации Байкинской антеклизы. Исследованные породы зоны брекчирования имеют обломочную структуру. Встречаются наименее подверженные растворению обломки силицитов и аутигенного кварца из трещин. Между обломками располагается доломитовый цемент, сложенный частично растворенными кристаллами доломита, и их растворение происходило также во время поверхностного карстообразования (см. рис. 6). На этапе карстообразования при растворении кристаллов доломита происходило наиболее значительное повышение пористости в исследованном интервале пород (см. рис. 6). После формирования пустотного пространства оно заполнялось ОВ, однако точное время миграции УВ по данным исследования авторов статьи не определено.

Выводы

Проведенные исследования позволили выявить основные черты минеральных и текстурно-структурных преобразований, сопровождающих предвендский приповерхностный карст в исследованном интервале пород, а также определить этапность формирования емкостных свойств изученных карбонатов. Основные постседиментационные процессы, происходившие в породах верхней подтолщи юрубченской толщи — перекристаллизация, окремнение, появление и заполнение трещин доломитом, образование стилолитовых швов, выщелачивание и дедоломитизация. Описанные постседиментационные изменения приурочены к разным этапам тектонической эволюции Байкинской антеклизы и по-разному влияют на емкостные свойства пород. Так, на стадии погружения бассейна широко проявились перекристаллизация и окремнение, которые привели к формированию плотных низкопористых пород. На стадии воздымания и складкообразования происходило образование трещинного емкостного пространства, но из-за последующего заполнения трещин доломитом и кварцем пустоты закрывались. Таким образом, значительная часть пустот и трещин, образованных во время осадконакопления, погружения и складчатости, была уничтожена к началу предвендской эрозии. Поэтому наиболее значимым для формирования емкостных характеристик изученных рифейских карбонатов был этап приповерхностной эрозии, который привел к развитию значительных объемов межкристаллических и внутрикристаллических пустот, частично заполнившихся битумами.

Литература

1. *Grantham P.J.* The occurrence of unusual C_{27} and C_{29} sterane predominance in two types of Oman crude oil // *Organic Geochemistry*. – 1986. – Т. 9. – № 1. – С. 1–10. DOI: 10.1016/0146-6380(86)90077-X.
2. *Craig J., Biffi U., Galimberti R.F., Ghori K.A.R., Gorter J.D., Hakho N., Le Heron D.P., Thurow J., Vecoli M.* The palaeobiology and geochemistry of Precambrian hydrocarbon source rocks // *Marine and Petroleum Geology*. – 2013. – № 40. – P. 1– DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2012.09.011.
3. *Wang G., Wang T.-G., Han K., Wang L., Shi S.* Recognition of a novel Precambrian petroleum system based on isotopic and biomarker evidence in Yangtze platform, South China // *Marine and Petroleum Geology*. – 2015. – Т. 68. – С. 414–426. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2015.09.003.
4. *Постникова О.В., Фомичева Л.Н., Соловьева Л.В.* Палеогеографические и палеогеодинамические условия формирования рифей-вендского осадочного бассейна юга Сибирской платформы в связи с его нефтегазоносностью // *Геология нефти и газа*. – 2008. – №. 1. – С. 8–13.
5. *Глебовицкий В.А., Хильтова В.Я., Козаков И.К.* Тектоническое строение Сибирского крата: интерпретация геолого-геофизических, геохронологических и изотопно-геохимических данных // *Геотектоника*. – 2008. – №. 1. – С. 12–26.
6. *Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления* / Под ред. А.Э. Конторовича. – Новосибирск : Гео, 2005. – 428 с.
7. *Хабаров Е.М., Вараксина И.В.* Строение и обстановки формирования мезопротерозойских нефтегазоносных карбонатных комплексов запада Сибирского крата // *Геология и геофизика*. – 2011. – Т. 52. – № 8. – С. 1173–1198.
8. *Багринцева К.И., Красильникова Н.Б., Сауткин Р.С.* Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов рифея Юрубчено-Тохомского месторождения // *Геология нефти и газа*. – 2015. – №. 1. – С. 24–40.
9. *Хабаров Е.М., Пономарчук В.А., Морозова И.П., Вараксина И.В., Сараев С.В.* Вариации уровня моря и изотопного состава

карбонатного углерода в рифейском бассейне западной окраины Сибирского кратона (Байkitская антеклиза) // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43. – № 3. – С. 211–239.

10. Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Ножкин А.Д., Пономарчук В.А. Рифейские офиолиты Исаковского пояса, Енисейский край // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35. – № 7–8. – С. 169–181.

11. Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Матушкин Н.Ю., Метелкин Д.В., Советов Ю.К. Геодинамическая эволюция складчатого обрамления и западная граница Сибирского кратона в неопротерозое: геолого-структурные, седиментологические, геохронологические и палеомагнитные данные // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 4. – С. 502–519.

12. Харахинов В.В., Шленкин С.И., Зеренинов В.А. и др. Нефтегазоносность докембрийских толщ Куёмбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазонакопления [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6. – № 1. – Режим доступа: https://ngtp.ru/rub/4/12_2011.pdf (дата обращения 30.12.2024).

13. Vasileva K.Y., Ershova V.B., Khudoley A.K., Khusnitdinov R.R., Kuznetsov A.B., Prokofiev V.Y., Bekker A. Diagenetic history of the proterozoic carbonates and its role in the oil field development in the Baikite Antecline, Southwestern Siberia // Precambrian Research. – 2020. – V. 342. – 105690. DOI: 10.1016/j.precamres.2020.105690.

14. Япакскупт О.В. Стадиальный анализ литогенеза. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 142 с.

15. Choquette P.W., Pray L.C. Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates // American Association of Petroleum Geologists Bulletin. – 1970. – Т. 54. – С. 207–250.

16. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – Т. 8. – С. 16–27.

17. Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // American Mineralogist. – 1989. – V. 74. – P. 1390–1393.

18. Coniglio M. Dolomitization and recrystallization of middle Silurian reefs and platform carbonates in the Guelph Formation, Michigan Basin, southwestern Ontario // Bulletin of Canadian Petroleum Geology. – 2003. – Т. 51. – № 2. – С. 177–199. DOI: 10.2113/51.2.177.

19. Machel H.G. Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal // The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs. Geological Society, London, Special Publications. – 2004. – Т. 235. – С. 7–63. DOI: 10.1144/GSL.SP.2004.235.01.02.

20. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. – М.: Изд-во Мир, 1987. Т. 1+2. – 560+560 с.

21. Кузнецов В.Г. Карбонатные отложения докембрия. – М.: И.П. Матушкина, 2010. – 151 с.

22. Braithwaite C.J.R., Rizzi G. The geometry and petrogenesis of hydrothermal dolomites at Navan, Ireland // Sedimentology. – 1997. – Т. 44. – С. 421–440. DOI: 10.1046/j.1365-3091.1997.d01-30.x

23. Zhao Y.-Y., Zheng Y.-F. Geochemistry of vein and wallrock carbonates from the Ediacaran system in South China: Insights into the origins of depositional and post-depositional events // Chemical Geology. – 2015. – Т. 404. – С. 71–87. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2015.03.018.

24. White W.B., White E.L. Karst Landforms: Scope and Processes in the Early Twenty-First Century. – Academic Press, 2013. P.14–22. doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00142-1.

25. Вилесов А.П., Чертина К.Н. Палеокарст, гидротермокарст и карстовые коллекторы франских рифов Рыбкинской группы // Георесурсы. – 2020. – Т. 22. – № 2. – С. 15–28. DOI: 10.18599/grs.2020.2.15-28.

References

1. Grantham P.J. The occurrence of unusual C₂₇ and C₂₉ sterane predominance in two types of Oman crude oil. Organic Geochemistry. 1986;9(1):1–10. DOI: 10.1016/0146-6380(86)90077-X.
2. Craig J., Biffi U., Galimberti R.F., Ghorri K.A.R., Gorter J.D., Hakho N., Le Heron D.P., Thurow J., Vecoli M. The palaeobiology and geochemistry of Precambrian hydrocarbon source rocks. Marine and Petroleum Geology. 2013;(40):1–47. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2012.09.011.
3. Wang G., Wang T.-G., Han K., Wang L., Shi S. Recognition of a novel Precambrian petroleum system based on isotopic and biomarker evidence in Yangtze platform, South China. Marine and Petroleum Geology. 2015;(68):414–426. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2015.09.003
4. Postnikova O.V., Fomicheva L.N., Solov'eva L.V. Paleogeographic and paleogeodynamic formation conditions of riphean-vendian sedimentary basin in the south of Siberian platform regarding its oil and gas presence. Geologiya nefi i gaza. 2008(1):8–13.
5. Glebovitskii V.A., Khil'tova V.Ya., Kozakov I.K. Tectonics of the Siberian craton: interpretation of geological, geophysical, geochronological, and isotopic geochemical data. Geotektonics. 2008;(1):8–20. DOI: 10.1134/S0016852108010020.
6. Stratigrafiya neftegazonosnykh basseinov Sibiri. Kembrii Sibirskoi platformy. V. 1. Stratigrafiya [Stratigraphy of the Siberian oil and gas bearing basins. Siberian Platform: Cambrian. VOL. 1. Stratigraphy]. In: Yu.Ya. Shabanov, ed. Novosibirsk: INGG SO RAN; 2016. 485 p. In Russ.
7. Khabarov E.M., Varaksina I.V. The structure and depositional environments of Mesoproterozoic petroliferous carbonate complexes in the western Siberian craton. Russian Geology and Geophysics. 2011;52(8):1173–1198. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.07.014.
8. Bagrintseva K.I., Krasil'nikova N.B., Sautkin R.S. Formation conditions and properties of the riphean carbonaceous reservoirs of the Yurubcheno-tokhomsk deposit. Geologiya nefi i gaza. 2015;(1):24–40.

9. Khabarov E.M., Ponomarchuk V.A., Morozova I.P., Varaksina I.V., Saraev S.V. Sea level and $\delta^{13}\text{C}$ trends in Riphean petroliferous deposits on the western margin of the Siberian craton (Baikit uplift). *Russian Geology and Geophysics*. 2002;43(3):211–239.
10. Vernikovskii V.A., Vernikovskaya A.E., Nozhkin A.D., Ponomarchuk V.A. Riphean ophiolite of the Isakovskiy Belt, the Yenisei Ridge. *Geologiya i geofizika*. 1994;35(7–8):169–181.
11. Vernikovskii V.A., Kazanskii A.Yu., Matushkin N.Yu., Metelkin D.V., Sovetov Yu.K. The geodynamic evolution of the folded framing and the western margin of the Siberian craton in the Neoproterozoic: ecological, structural, sedimentological, geochronological, and paleomagnetic data. *Russian Geology and Geophysics*. 2009;50(4):372–387.
12. Kharakhinov V.V., Shlenkin S.I., Zereninov V.A. et al. Petroleum potential of precambrian strata of Kuyumbinsko-Yurubcheno-Tokhomskiy oil and gas accumulation area. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2011;6(1): Available at: https://ngtp.ru/rub/4/12_2011.pdf (accessed 30.12.2024). In Russ.
13. Vasileva K.Y., Ershova V.B., Khudoley A.K., Khusnitdinov R.R., Kuznetsov A.B., Prokofiev V.Y., Bekker A. Diagenetic history of the proterozoic carbonates and its role in the oil field development in the Baikit Anticline, Southwestern Siberia. *Precambrian Research*. 2020;(342):105690. DOI: 10.1016/j.precamres.2020.105690.
14. Yapaskurt O.V. Stadiyal'nyi analiz litogeneza [Stadium analysis of lithogenesis]. Moscow: Izd-vo MGU, 1994. 142 p.
15. Choquette P.W., Pray L.C. Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1970;(54):207–250.
16. Borisenko A.S. Izuchenie solevogo sostava gazovo-zhidkikh vklucheni v mineralakh meto-dom kriometrii [Study of the salt composition of gas-liquid inclusions in minerals by cryometry]. *Geologiya i geofizika*. 1977;(8):16–27.
17. Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*. 1989;(74):1390–1393.
18. Coniglio M. Dolomitization and recrystallization of middle Silurian reefs and platformar carbonates in the Guelph Formation, Michigan Basin, southwestern Ontario. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. 2003;51(2):177–199. DOI: 10.2113/51.2.177
19. Machel H.G. Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal. The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs. Geological Society, London, Special Publications. 2004;235. pp. 7–63. DOI: 10.1144/GSL.SP.2004.235.01.02.
20. Redder E. Flyuidnye vklucheniya v mineralakh [Fluid inclusions in minerals]. Moscow: Izd-vo Mir, 1987. T. 1+2. Pp. 560+560.
21. Kuznetsov V.G. Karbonatnye otlozheniya dokembriya [Precambrian carbonate deposits]. Moscow: I.P. Matushkina, 2010. 151 p.
22. Braithwaite C.J.R., Rizzi G. The geometry and petrogenesis of hydrothermal dolomites at Navan, Ireland. *Sedimentology*. 1997;(44):421–440. DOI: 10.1046/j.1365-3091.1997.d01-30.x.
23. Zhao Y.-Y., Zheng Y.-F. Geochemistry of vein and wallrock carbonates from the Ediacaran system in South China: Insights into the origins of depositional and post-depositional events. *Chemical Geology*. 2015;(404):71–87. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2015.03.018.
24. White W.B., White E.L. Karst Landforms: Scope and Processes in the Early Twenty-First Century. – Academic Press, 2013. pp. 14–22. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00142-1.
25. Vilesov A.P., Chertina K.N. Paleokarst, gidrotermokarst i karstovye kolektory franskix rifov Rybinskoi gruppy [Paleokarst, hydrotermokarst, and karst reservoirs of the Fransk reefs of the Rybkin Group]. *Georesursy*. 2020;22(2):15–28. DOI: 10.18599/grs.2020.2.15-28.

Информация об авторах

Васильева Ксения Юрьевна

Кандидат геолого-минералогических наук,
доцент

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9
e-mail: k.vasilyeva@spbu.ru

ORCID ID: 0000-0001-7766-5674

Scopus ID: 5719 3951587

AuthorID: 957973

Ершова Виктория Бэртовна

Доктор геолого-минералогических наук,
доцент

Геологический институт Российской академии наук,
119017 Москва, Пыжевский пер., д. 7
e-mail: v.ershova@spbu.ru

ORCID ID: 0000-0002-9661-1708

Scopus ID: 15519189300

Author ID: 155538

Information about authors

Kseniia Yu. Vasileva

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
Associate professor

St. Petersburg State University,
7/9 Universitetskaya nab., Saint Petersburg, 199034, Russia
e-mail: k.vasilyeva@spbu.ru

ORCID ID: 0000-0001-7766-5674

Scopus ID: 5719 3951587

AuthorID: 957973

Victoria B. Ershova

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences
Associate professor

Geological Institute of Russian Academy of Sciences
7, per. Pyzhevskiy, Moscow, 119017, Russia
e-mail: v.ershova@spbu.ru

ORCID ID: 0000-0002-9661-1708

Scopus ID: 15519189300

Author ID: 155538

Михайлова Ксения Юрьевна

Инженер

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7/9

e-mail: mikhailova.ky@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-5854-4332

Scopus ID: 3646363

Author ID: 1141475

Тихонова Ксения Александровна

Главный специалист

ООО "РН-КрасноярскНИПИнефть",
660098, Красноярск, ул. 9 Мая, д. 65д

e-mail: TikhonovaKA@knipi.rosneft.ru

Author ID: 1052529

Колесов Владимир Анатольевич

Эксперт

Институт геологии и разработки горючих ископаемых,
109472 Москва, ул. Вавилова, 25 корп. 1

e-mail: v_kolesov@igirgi.su

ORCID ID: 0000-0002-8674-1584

Scopus ID: 55650610400

Author ID: 943086

Прокофьев Всеволод ЮрьевичДоктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудникИнститут геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии Российской академии наук,
119017 Москва, Старомонетный пер., 35

e-mail: vpr2004@rambler.ru

ORCID ID: 0000-0001-7134-2655

Scopus ID: 7102755351

Author ID: 59504

Бугрова Ирина ЮрьевнаКандидат геолого-минералогических наук,
доцентСанкт-Петербургский государственный университет,
199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7/9

e-mail: i.bugrova@spbu.ru

ORCID ID: 0000-0001-7812-2356

Scopus ID: 7801456728

Author ID: 61433

Kseniya Yu. Mikhailova

Engineer

St. Petersburg State University,
7/9 Universitetskaya nab., Saint Petersburg, 199034, Russia

e-mail: mikhailova.ky@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-5854-4332

Scopus ID: 3646363

Author ID: 1141475

Kseniya A. Tikhonova

Chief Specialist

RN-KrasnoyarskNIPIneft LLC,
65D, ul. 9 maya, Krasnoyarsk, 660098, Russia

e-mail: TikhonovaKA@knipi.rosneft.ru

Author ID: 1052529

Vladimir A. Kolesov

Expert

Institute of Geology and Development of Fossil Fuels
25/1 ul. Vavilova, Moscow, 109472, Russia

e-mail: v_kolesov@igirgi.su

ORCID ID: 0000-0002-8674-1584

Scopus ID: 55650610400

Author ID: 943086

Vsevolod Yu. Prokof'evDoctor of geological and mineralogical Sciences,
Leading researcherInstitute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and
Geochemistry Russian Academy of Sciences
35, per. Staromonetny, Moscow, 119017, Russia

e-mail: vpr2004@rambler.ru

ORCID ID: 0000-0001-7134-2655

Scopus ID: 7102755351

Author ID: 59504

Irina Yu. BugrovaCandidate of Geological and Mineralogical Sciences
Associate professorSt. Petersburg State University,
7/9 Universitetskaya nab., Saint Petersburg, 199034, Russia

e-mail: i.bugrova@spbu.ru

ORCID ID: 0000-0001-7812-2356

Scopus ID: 7801456728

Author ID: 61433