

УДК 552.58:551.732.2:553.98

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КОЛЛЕКТОРСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ОСИНСКОГО ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА БОЛЬШЕТИРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)

Вараксина Ирина Валерьевна¹,
varaksinaIV@ipgg.sbras.ru

Иванова Наталья Алексеевна²,
ivanovana@sniiggims.ru

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук,
Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3.

² Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья,
Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 67.

Актуальность. Восточная Сибирь является районом с большими сырьевыми ресурсами, играющим важнейшую роль в развитии нефтегазового комплекса России. Главным объектом поисково-разведочных работ на этой территории на протяжении долгого времени оставался терригенный венд. Однако в последние десятилетия была доказана промышленная нефтегазоносность венд-нижнекембрийского карбонатного комплекса, который отличается сложным строением и сильной изменчивостью коллекторских свойств. Поэтому для оптимальной разработки приуроченных к нему месторождений необходимо детальное изучение литологических факторов формирования карбонатных коллекторов.

Объект: карбонатные отложения осинского продуктивного горизонта нижнего кембрия, вскрытые глубоким бурением на территории Большекетирского месторождения.

Цель: на основе литолого-фациального анализа выделить уровни с наилучшими коллекторскими свойствами.

Методы: минералого-петрографическое изучение кернового материала и типизация отложений; фациальный анализ литологических типов (литотипов) пород; корреляция фильтрационно-ёмкостных характеристик с различными литотипами.

Результаты. Установлено, что осинский горизонт характеризуется неоднородным строением, обусловленным периодической сменой обстановок на мелководном шельфе: от приливно-отливных равнин и себх до баровых отмелей и биогермных построек верхней сублиторали. Показано, что различия в условиях седиментации повлияли на структуру первичного пустотного пространства, но определяющим фактором в формировании фильтрационно-ёмкостных свойств стали постседиментационные процессы, роль которых была неоднозначна. Выяснено, что вторичная минерализация пустот практически уничтожила коллекторский потенциал баровых и биогермных отложений, обладающих наиболее высокой первичной пористостью, а уровень развития наиболее высокоемкого коллектора оказался приурочен к интенсивно доломитизированным отложениям литоральной зоны.

Ключевые слова:

Восточная Сибирь, осинский продуктивный горизонт, литология, коллекторы, нижний кембрий.

Введение

Восточная Сибирь на сегодняшний день является наиболее перспективным регионом для наращивания сырьевой базы России, поскольку обладает значительным объемом запасов углеводородов [1–4 и др.]. Наибольшим ресурсным потенциалом характеризуется крупнейшая положительная структура Сибирской платформы – Непско-Ботуобинская антеклиза (НБА), на территории которой открыт целый ряд нефтегазовых месторождений – от мелких до гигантских [5–7]. Большая часть запасов углеводородов в её пределах приурочена к терригенным отложениям венда, поэтому длительное время поисково-разведочные работы были связаны только с ними. Однако в последние десятилетия исследование района НБА сейсморазведкой и глубоким бурением привело к тому, что в качестве нового объекта для прироста запасов стали рассматриваться низкопроницаемые венд-нижнекембрийские карбонатные толщи, промышленная нефтегазоносность которых была доказана открытием залежей на Большекетирском, Марковском, Верхнечонском, Талаканском и других месторождениях [8–11 и др.]. Следует отметить, что, в отличие от терригенных коллекторов,

продуктивные горизонты в карбонатных толщах характеризуются сложным литологическим строением, сильной изменчивостью фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) и нестабильностью притоков углеводородов, что значительно осложняет разработку выявленных месторождений. Вследствие этого для более точной оценки качества резервуаров требуется детальное изучение литологических особенностей и условий формирования пород-коллекторов.

Стратиграфическая позиция

Большекетирское нефтяное месторождение расположено в южной части НБА. Перспективы этого района в значительной мере связаны с осинским резервуаром нижнего кембрия. Согласно схеме фациального районирования кембрия, месторождение приурочено к Ангаро-Непскому фациальному району (рис. 1).

В основании нижнего кембрия здесь залегает соленосно-карбонатный усольский региональный горизонт, разделенный на три подгоризонта. По стратиграфическому объему он соответствует усольской свите, в составе которой также выделяются три подпиты (рис. 2).

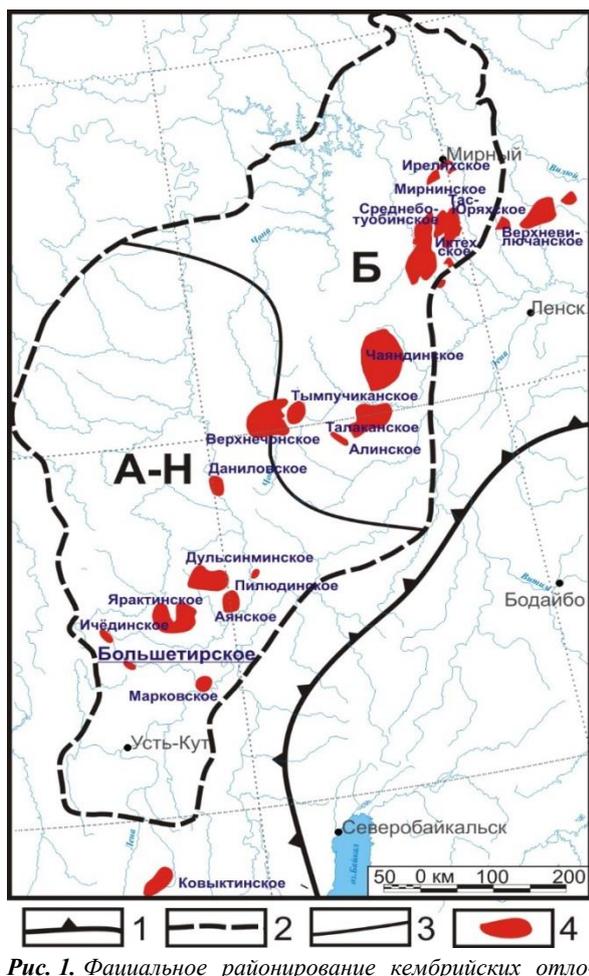


Рис. 1. Фациальное районирование кембрийских отложений Непско-Ботуобинской антеклизы [12]. Условные обозначения: 1–3 – границы: 1 – Сиберской платформы, 2 – Непско-Ботуобинской антеклизы, 3 – фациальных районов; 4 – месторождения нефти и газа. Фациальные районы: Б – Ботуобинский, А-Н – Ангаро-Непский

Fig. 1. Facies zoning of the Cambrian deposits of the Nepa-Botuoba anteclise [12]. Legend: 1–3 – borders: 1 – Siberian platform, 2 – Nepa-Botuoba anteclise, 3 – facies areas; 4 – oil and gas fields. Facies areas: B – Botuoba, A-N – Angaro-Nepa

Усольская свита совместно с бельской, булайской, ангарской и ливинцевской свитами входит в состав кембрийского солевого структурного комплекса. Её нижняя и верхняя подсвиты отличаются галогенно-карбонатным составом с преобладанием каменной соли и прослоями глинисто-ангидритистых доломитов. Средняя подсвита представлена преимущественно карбонатными породами и, согласно общепринятому мнению, в полном объеме соответствует осинскому продуктивному горизонту [7, 12, 13 и др.]. Нижняя граница горизонта проводится по кровле солей нижней подсвиты, а верхняя приурочена к подошве нижнего пласта каменной соли верхней подсвиты. В кровле осинского горизонта предполагается региональный перерыв, который выявлен пачковой корреляцией разрезов и хорошо фиксируется по резкому снижению значений гамма-каротажа (ГК) и увеличению значений нейтронного каротажа НГК [12].

Система	Отдел				Ангаро-Непский район	
	Ярус					
Кембрий	Верхний				Непская зона	
	Средний				Илгинская свита 15-318 м	
Кембрий	Средний				Верхоленская свита 318-764 м	
	Нижний				Литвинцевская свита	
Кембрий	Нижний				Ангарская свита	
	Нижний				Булайская свита	
Кембрий	Нижний				Бельская свита	
	Нижний				Усольская свита	
Кембрий	Нижний				Тэтэрская свита	
	Нижний					
Венд						
Н-Д	Томмотский	Усольский	Осинский			
Данил.		Усольский	Осинский			
Юрях-ский						
Ботом-ский	Ур.	Ол.				
Тойонский	Чарский					
Амгин-ский	Зеледеев.					
Майский						

Рис. 2. Стратиграфическая схема кембрия Непской зоны Ангаро-Ленского фациального района [12]. Условные обозначения: 1–3 – породы: 1 – глинистые, 2 – галогенно-карбонатные, 3 – карбонатные; 4 – отсутствие отложений; 5 – размыв. Горизонты: Данил. – Даниловский, Эл. – Эльганский, Толбач. – Толбачанский, Ур. – Урицкий, Ол. – Олекминский, Н. – Наманский, Зеледеев. – Зеледеевский

Fig. 2. Stratigraphic scheme of the Cambrian of the Nepa zone of the Angara-Lena facies region [12]. Legend: 1–3 – rocks: 1 – argillite, 2 – halogen-carbonate, 3 – carbonate; 4 – no deposits; 5 – washout. Horizons: Данил. – Danilov, Эл. – Elgyan, Толбач. – Tolbachan, Ур. – Uritsk, Ол. – Olekma, Н. – Naman, Зеледеев. – Zeledeev

Строение разреза и литолого-фациальная характеристика

В основу работы положены результаты литологических исследований осинского продуктивного горизонта, полученные при бурении одной из скважин Большешетирского месторождения, которая отличается наиболее полным (около 90 %) отбором кернового материала.

В изученном разрезе осинский горизонт мощностью 103 м согласно залегает на соленосных отложениях нижеусольской подсвиты (рис. 3). В его основании выделяется маломощная (5 м) пачка 1, не представленная керном, но, судя по данным ГИС и резуль-

татам бурения других разрезов, сложенная глинистыми, нередко ангидритистыми доломитами. Данная пачка прослеживается на всей территории Ангаро-Непской фациальной зоны, отличаясь высокими значениями ГК и низкими показателями НГК [12].

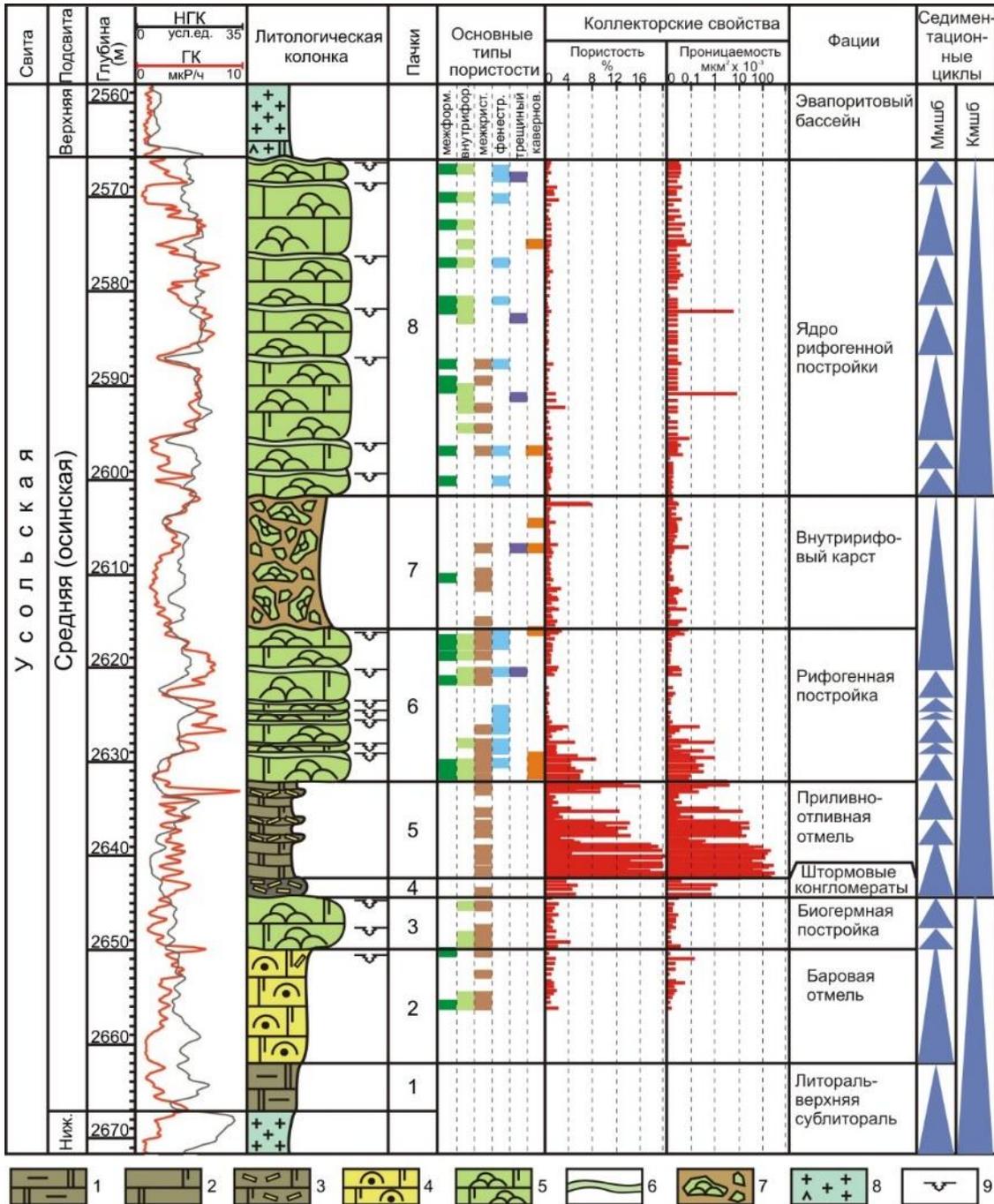


Рис. 3. Литолого-фациальный состав и коллекторские свойства осинского горизонта. Условные обозначения: 1 – глинисто-доломитовые мадстоуны, 2 – известково-доломитовые вакстоуны-пакстоуны-грейнстоуны, 3 – известково-доломитовые интракластические пакстоуны-рудстоуны, 4 – доломито-известковые грейнстоуны, 5 – доломито-известковые байндстоуны-бафлстоуны, 6 – известково-доломитовые строматолитовые байндстоуны, 7 – карстовая брекчия, 8 – соляные породы, 9 – субаэральная экспозиция. Выделение литотипов основано на классификации [14, 15]

Fig. 3. Lithofacies composition and reservoir properties of the Osinsky horizon. Legend: 1 – clay-dolomite mudstones, 2 – calcareous-dolomite wackstones-packstones-grainstones, 3 – calcareous-dolomitic intraclastic packstones-rudstones, 4 – dolomite-calcareous grainstones, 5 – dolomite-calcareous bindstones-bufflstones, 6 – calcareous-dolomitic stromatolite bindstones, 7 – karst breccia, 8 – salt rocks, 9 – subaerial exposition. The lithotypes were identified according to the classification [14, 15]

В вышележащей пачке 2 доминируют доломито-известковые грейнстоуны, коричневые и темно-коричневые, пологослоистые, пористо-кавернозные, с редкими желваками ангидрита. Породы сложены микрофитолитами группы катаграфий, пространство между которыми заполнено морским спаритовым цементом (рис. 4, а). Доломит, содержание которого варьирует от 10 до 65 %, развивается как по цементу, так и по микрофитолитам. В верхней части пачки появляются интракласты катаграфиевых пород гравийно-галечной размерности. Отсутствие микрофитового матрикса, относительно хорошая сортировка и тренд на увеличение размеров зерен вверх по разрезу позволяют рассматривать эти породы как образования достаточно крупной (мощностью 12 м) баровой отмели. В кровле данной постройки наблюдается седиментационное брекчирование слабо литифицированного осадка с формированием прослоев плоскогалечных конгломератов, а также широкое развитие желвакового ангидрита, что свидетельствует о её выходе в приповерхностную супралиторальную зону.

Следующая пачка 3 (мощностью 5,15 м) представлена микробиально-слоистыми известняками со структурами бафлстоун и байндстоун, в образовании которых основную роль играли цианобактериальные сообщества группы Renalcis (рис. 4, б), сформировавшие постройку биогермного типа. Породы коричневатой окраски, слабо волнистослоистые, с обильными фенестральными структурами, доломитизированные. В подошве залегает маломощный (15 см) прослой темно-серых глинистых известняков с резкой нижней границей. В строении постройки зафиксировано несколько уровней кратковременных экспозиций (рис. 3), на которых наблюдаются интенсивная доломитизация, сульфатизация, каверны и трещины усыхания, выполненные галитом, а также небольшие карстовые «карманы», заполненные обломками доломито-ангидритовых пород.

Пачка 4 (мощностью 2,2 м) характеризуется четкими, вероятно, эрозийными границами и сложена доломитовыми галечными конгломератами (интракластическими рудстоунами). Породы темно-коричневые косослоистые, участками с нечетко выраженным градиционным распределением обломков, содержат плоские (длиной от 1 до 5 см) интракласты микрофитовых и микрофитолитовых доломитов, погруженных в сильно битуминизированный глинисто-доломитовый матрикс (рис. 4, в). Судя по текстурам, значительному содержанию матрикса, разной степени окатанности и плохой сортировке обломочного материала накопление этих отложений происходило в заиленных литоральных каналах, активизирующихся в периоды штормовых событий [16]. Доломитоглинистый осадок, обогащенный органическим веществом, видимо, поступал с участков с затрудненным водообменом (мелководных лагун), а плоскогалечные интракласты являлись продуктами штормового разрушения баровых отмелей и биогермов, разделяющих эти депрессии. В нижней части обломки более крупные, с черепичной укладкой, характерной для направленных потоков. В верхней части наблюдается

уменьшение зернистости, более хаотичная ориентировка интракластов, а также текстуры пластичного смятия и оползания, что свидетельствует о постепенном уменьшении штормового воздействия.

В составе пачки 5 (мощностью 12,5 м) преобладают доломиты серо-коричневые известковистые с реликтами мелкозернистой структуры, которая в значительной степени утрачена в результате интенсивной доломитизации. Первичный состав зерен и вмещающей массы определить затруднительно, но по реликтам можно предположить, что это интракластовые и/или микрофитолито-интракластовые пакстоуны-грейнстоуны, переслаивающиеся с глинисто-микрофитовыми вакстоунами-мадстоунами. Пачка подразделяется на элементарные циклы обмеления, нижние элементы которых характеризуются выдержанной тонкой субгоризонтальной и пологонаклонной слоистостью (рис. 4, г). В средних частях наблюдается нарушение слоистости за счет пластичной деформации и структур внедрения осадка, а также трещин усыхания и брекчирования слабо литифицированных слоев. В верхних элементах седиментационное брекчирование более выражено, присутствуют прослои крупноинтракластических пород и многочисленные включения ангидрита. В прикровельном цикле наряду с интракластитами встречаются минипостройки желваковых строматолитов диаметром 10–15 см. Наличие таких циклов, отражающих переход от нижней литорали до супралиторали, позволяет диагностировать эти отложения как фацию приливно-отливной равнины [17], в пределах которой развивались мелкие барово-отмельные тела, периодически подвергавшиеся экспозиции, о чем свидетельствуют трещины усыхания и синседиментационная сульфатизация. Эпизодически происходила активизация приливов и/или мелких штормовых событий с образованием прослоев конгломератов и конглобрекчий.

Пачка 6 (мощностью 16 м) сложена серовато-коричневыми доломитизированными и засоленными микробиальными известняками, формирующими серию мелкомасштабных (мощностью 1–2 м) биогермов. Основную роль в них играют колонии микробных организмов со структурами Botomaella и Renalcis (рис. 4, д), в меньшей степени развиты мелкостволчатые и желваковые строматолиты. В кровле повсеместно залегают пластовые строматолиты. Такое распределение цианобактериальных образований характерно для сукцессионного ряда простых микробиальных построек пластово-линзовидной формы [18], каждая из которых на завершающей стадии развития достигала зоны крайнего мелководья, что подтверждается появлением прослоев интракластитов, доломитизацией, выщелачиванием и галитизацией пустот растворения в прикровельных частях. Эти последовательно нарастающие друг на друга биогермы видимой толщины от 0,5–0,7 до 1,7 м сформировали достаточно крупную рифогенную постройку.

Пачка 7 (мощностью 14 м) представлена аналогичными биогермными отложениями, в которых фиксируются многочисленные проявления карста. Породы интенсивно разбиты трещинами и полостями

(протяженностью до 30 см) на отдельные блоки с образованием брекчии (рис. 4, е). Стенки каверн инкрустированы кальцитом и доломитом, а центральные части заполнены галитом. Брекчивые обломки угло-

ваты, неориентированные. Карстование рифогенной постройки, по-видимому, было связано с её довольно продолжительным нахождением в субаэральных условиях.

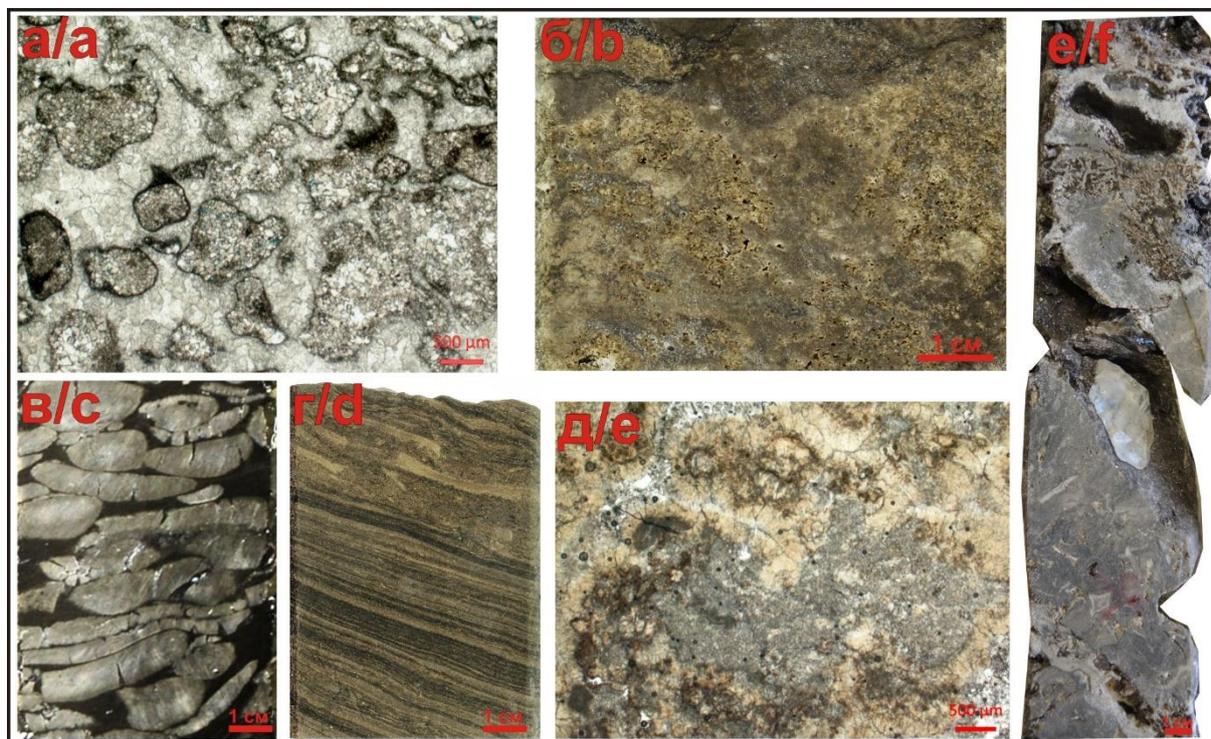


Рис. 4. Основные типы пород: а) перекристаллизованный доломито-известковый микрофитолитовый грейнстоун; б) бафлстоун из колоний *Renalcis*, переходящий в микробально-слоистый байндстоун; в) интракластический рудстоун (плоскогалечный конгломерат); г) фрагмент элементарного цикла обмеления, в котором доломитовый пологослоистый мелкозернистый грейнстоун перекрывается крупноинтракластическим пакстоуном; д) известковый микробальный бафлстоун-байндстоун, сложенный шаровидными колониями *Renalcis*; е) карстовая брекчия

Fig. 4. The main types of rocks: a) recrystallized dolomite-calcareous microphytolithic grainstone; b) bufflestone from *Renalcis* colonies to microbially layered bindstone; c) intraclastic rudstone (flat-pebble conglomerate); d) fragment of the elementary shoaling cycle, in which dolomitic gently stratified fine-grained grainstone is overlain by coarse intraclastic packstone; e) calcareous microbial bufflestone-bindstone, composed of spherical colonies of *Renalcis*; f) karst breccia

Во время накопления пачки 8 развитие рифа возобновилось, и на закарстованной поверхности сформировался биогермный комплекс из массивных микробальных известняков мощностью 36,15 м, фациальная принадлежность которого, вероятно, соответствует ядру рифогенной постройки. Рифогенный массив состоит из последовательно нарастающих друг на друга биогермов (мощностью от 2 до 6 м) со следами субаэральной экспозиции в кровельных частях, состав и строение которых аналогичны нижележащим (пачка 6). Биогермные отложения завершают разрез осинского горизонта и перекрываются каменными солями верхнеусольской подсвиты.

На основе проведенного литолого-фациального анализа можно сделать вывод, что осадконакопление в среднеусольское время в изученном районе происходило в пределах мелководного карбонатного шельфа в условиях, благоприятных для широкого развития микробальных сообществ. На начальном этапе формирования осинского горизонта в результате общей

региональной трансгрессии нижнеусольские соленосные отложения мелководной изолированной лагуны сменились нормально-морскими условиями верхней сублиторали, которую стали заселять микробальные организмы. Постепенное повышение относительного уровня моря (ОУМ) и относительно высокий энергетический режим способствовали образованию на этом участке шельфа относительно крупной баровой отмели, на которой при максимальном уровне моря стала формироваться микробальная постройка биогермного типа. Недостаточность аккомодационного пространства в период высокого стояния уровня моря приводила к периодическому выходу биогермов в субаэральные условия даже при незначительных его колебаниях. Понижение ОУМ в последующем привело к сдвигу седиментации в приливно-отливную зону. При очередном углублении шельфа вновь восстановились нормально-морские условия мелководной сублиторали, что благоприятствовало росту микробальных построек, сформировавших довольно круп-

ный массив, который эпизодически подвергался кратковременному осушению. На определенном этапе в результате резкого падения уровня моря развитие рифогенного комплекса было прервано и последовал достаточно продолжительный период субазальной экспозиции, сопровождающийся карстовыми процессами. Последующая относительно быстрая трансгрессия привела к затоплению шельфа и восстановлению рифообразования. По мере заполнения аккомодационного пространства формирование рифогенного массива завершилось и на изолированном шельфе возобновилось соленакопление.

Постседиментационные изменения и пустотное пространство

Среди постседиментационных процессов, повлиявших на формирование пустот в рассматриваемых отложениях, наибольшее распространение получили доломитизация, перекристаллизация, выщелачивание (в том числе карстование), сульфатизация (ангидритизация) и галитизация. Интенсивность и характер проявления этих преобразований были изменчивы. Противоположные по действию процессы нередко сменяли друг друга, при этом большая часть из них проходила на разных этапах диагенеза.

Доломитизация наиболее активно проявилась в отложениях приливно-отливной зоны и немного слабее в барово-отмельных породах, характеризующихся хорошей первичной пористостью. В микробиальных постройках этот процесс обычно связан с периодами их обмеления [19], поэтому доломитизации подверглись главным образом кровельные части биогермов. Необходимо отметить, что замещение ионов кальция на магний из-за разности молекулярных масс привело к образованию многочисленных межкристаллических пор между новообразованными ромбоэдрическими кристаллами, что характерно для вторичных доломитов [20]. Однако наряду с этим процессом в раннем и позднем диагенезе происходило заполнение доломитом первичных пор и пустот выщелачивания, приводящее к сокращению емкостного пространства.

Перекристаллизация развита повсеместно, но интенсивность её проявления неравномерная, что обусловлено неоднородной структурой пород, слагающих разрез осинского горизонта. Существенного влияния на формирование пористости этот процесс не оказал, за исключением случаев наложения доломитизации и последующей перекристаллизации, приводящих к увеличению размеров межкристаллических пустот на доломитизированных участках.

Выщелачивание с образованием пор и каверн происходило неоднократно. Наиболее активно оно проявлялось в периоды субазальных экспозиций, унаследовано развиваясь по фенестрам, межформенному пространству, синседиментационным трещинам и центральным частям форменных элементов в барово-отмельных и биогермных отложениях. Межкристаллические поры на участках доломитизации также подверглись выщелачиванию, но в значительно меньшей степени.

Процесс сульфатизации в основном был связан с приповерхностным диагенезом, когда под воздействием рассолов происходило заполнение пустот гипсом-ангидритом и изредка метасоматическое замещение кальцита сульфатными минералами. Галитизация также приурочена главным образом к уровням обмеления, причем нередко наблюдается совместная минерализация каверн ангидритом и галитом. Этот факт свидетельствует об аридных условиях с интенсивным испарением, в результате которого существенно повышалась солёность вод, что приводило к практически одновременно осадению сульфатов и галита. Степень засоления зависит от размера пустот и соответственно их генезиса. Анализ показал, что пустоты с диаметром менее 0,2 мм, среди которых доминируют межкристаллические поры, практически не подвержены этому процессу. Более крупные пустоты, образованные преимущественно за счет выщелачивания, частично или полностью цементированы ангидритом и/или галитом.

Таким образом, перекристаллизация, доломитизация и выщелачивание в целом положительно повлияли на формирование пористости. Однако большая часть пустотного пространства была частично или полностью уничтожена вследствие заполнения пор и каверн доломитом, ангидритом и галитом.

Интенсивность проявления вторичных процессов, особенно выщелачивания, в первую очередь зависела от седиментационной пористости. В изученных отложениях широко распространены первичные пустоты, связанные с жизнедеятельностью микробиальных сообществ, которые в дальнейшем в разной степени подверглись унаследованному растворению. Согласно систематике Ф. Чокетта и Л. Прея [21] в осинском горизонте были выделены следующие типы открытой пористости: 1) межформенная (interparticle), как первичная, так и вторичная (выщелачивания), развита между колониями цианобактерий, микрофитолитами и интракластами; 2) внутриформенная (intraparticle), преимущественно вторичная, образована за счет избирательного растворения карбонатных зёрен различного генезиса; 3) фенестральная (fenestral) синседиментационная приурочена в основном к микробиально-пластовым постройкам; 4) межкристаллическая (intercrystal) связана с такими вторичными процессами, как перекристаллизация и доломитизация; 5) каверновая (vuggy) постседиментационная относится к относительно крупным пустотам изометричной формы, возникшим на разных стадиях выщелачивания вышеперечисленных типов, но конкретно какого определить затруднительно; 6) трещинная (fracture) включает различные виды седиментационных и постседиментационных трещин, а также приуроченные к ним пустоты выщелачивания.

Анализ распределения различных типов пустот показал, что в биогермных комплексах получили развитие все типы пористости, в хорошо сортированных баровых грейнстоунах наряду с межкристаллическими пустотами определенный вклад внесли внутри- и межформенные пустоты, а в отложениях литорали остались свободными только межкристаллические поры (рис. 3).

Тем не менее, несмотря на широкий набор пустот различного типа, коллекторский потенциал рифогенных и баровых фаций оказался низким. Пористость обычно менее 4 %, проницаемость менее $0,1 \text{ мкм}^2 \times 10^{-3}$ (рис. 3). С одной стороны, микробильные и зернистые карбонатные породы отличались высокой первичной пористостью, поэтому в них активно шёл процесс растворения, что способствовало увеличению емкостных свойств. С другой стороны, хорошо развитое пустотное пространство стало благоприятным фактором для фильтрации рассолов и минерализации новообразованных пустот. В результате частичной или полной цементации пор и каверн такими вторичными минералами, как доломит, ангидрит и галит, произошло значительное сокращение открытой пористости и существенное ухудшение проницаемости. Негативные последствия вторичной цементации особенно ярко проявились на уровне развития внутририфового карста, где можно было бы предполагать наличие высокочемкого коллектора. Причем в центральных частях крупных карстовых полостей сохранилось довольно много остаточных открытых пор, однако практически все они оказались изолированными.

Наилучшие коллекторские свойства наблюдаются в сильно доломитизированных отложениях приливно-отливной зоны (рис. 3). Пористость этой пачки (№ 5) довольно высока от 1–5 до 23 % при средних значениях около 10 %. Проницаемость резко меняется от менее 1 до $343 \text{ мкм}^2 \times 10^{-3}$. Свободное пустотное пространство представлено многочисленными межкристаллическими порами треугольной и полигональной форм, размер которых не превышает 0,2 мм, расположенными между ромбоэдрическими кристаллами доломита. В породах также присутствуют более крупные пустоты, образованные в результате выщелачивания по межформенным и межкристаллическим порам, однако практически все они минерализованы галитом и/или ангидритом.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить следующее:

1. Осинский горизонт в изученном разрезе характеризуется неоднородным строением, обусловленным периодической сменой обстановок на мелко-

водном шельфе: от приливно-отливных равнин и себх до баровых отмелей и биогермных построек верхней сублиторали. Динамика осадконакопления была неравномерной, с седиментационными паузами различной продолжительности. В разрезе четко выделяются три крупных трансгрессивно-регрессивных цикла, в которых максимумы трансгрессий связаны с формированием биогермных построек, а максимумы регрессий фиксируются по появлению плоскогалечных конгломератов или карста. В составе этих циклов выделяются мелко-масштабные последовательности обмеления, часто со следами субаэральной экспозиции в кровле, отражающие малоамплитудные кратковременные колебания ОУМ (рис. 3).

2. Цикличность осадконакопления и широкое развитие постседиментационных процессов определили сложное строение осинского резервуара. Согласно опубликованным данным уровни высокочемких коллекторов в нём обычно связаны с органогенными постройками [7–12 и др.]. В рассматриваемом разрезе тоже наблюдалось широкое развитие различных типов пустот в биогермных комплексах, особенно на уровне внутририфового палеокарста, однако в результате вторичных изменений их коллекторский потенциал был практически уничтожен. В данном случае определяющую роль в формировании коллектора сыграл процесс доломитового метасоматоза, наиболее интенсивно проявившийся в литоральной пачке, которая обладает наилучшими коллекторскими свойствами.
3. Полученные данные показали весьма неоднозначный характер распределения коллекторов с хорошими ФЭС. Именно с неравномерностью коллекторских свойств связаны многочисленные трудности, возникающие при разработке осинского продуктивного горизонта, что и определяет необходимость детальных литологических исследований. Такие работы, направленные на выяснение условий формирования и распространения пород-коллекторов, позволяют существенно повысить степень достоверности прогноза наиболее перспективных зон.

Работа выполнена в рамках темы FWZZ-2022-0008 Государственной программы ФНИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефть и газ Восточной Сибири / И.А. Кушмар, Ю.Н. Григоренко, В.В. Ананьев, В.А. Беликин, Е.А. Губина. – СПб.: Изд-во «Недра», 2006. – 102 с.
2. О состоянии и перспективах ресурсной базы углеводородов, геолого-разведочных работ и лицензирования недр Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) / А.С. Ефимов, А.А. Герг, П.Н. Мельников, В.С. Старосельцев, А.А. Вымятин, В.Г. Акимов, И.И. Черепанова, М.В. Бражникова // Геология нефти и газа. – 2012. – № 5. – С. 57–74.
3. Нефтегазовый потенциал России: состояние и перспективы / А.С. Ефимов, А.А. Герг, М.Ю. Смирнов, Е.В. Смирнов, М.В. Бражникова // АТР глазами экспертов (международная экспертиза 2005–2019 гг.). – М., 2019. – С. 136–147.
4. Sustainable development of Russian energy sector: hydrocarbons of Eastern Siberia / I. Filimonova, A. Komarova, V. Nemo,

- I. Provornaya // The 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management. Book of Abstracts. – Albena, Bulgaria, 16–25 August 2020. – С. 777–783.
5. Непско-Ботуобинская антеклизы – новая перспективная область добычи нефти и газа на Востоке СССР / А.С. Анциферов, В.Е. Бакин, В.Н. Воробьев, Т.Я. Гребенкин, Д.И. Дробот, А.М. Зотеев, А.Э. Конторович, А.И. Ларичев, В.Б. Леонтович, М.М. Мандельбаум, В.Д. Матвеев, Н.В. Мельников, Г.А. Обухович, Б.Л. Рыбьяков, В.В. Самсонов, В.С. Старосельцев, В.С. Сурков, А.А. Трофимук, Г.С. Фрадкин, Б.А. Фукс, Н.В. Черский, А.И. Шамаль, Г.Г. Шемин. – Новосибирск: Наука, 1986. – 245 с.
6. Месторождения нефти и газа центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы / В.Н. Воробьев, С.А. Моисеев, В.А. Топешко, В.С. Ситников // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 7. – С. 4–17.

7. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская ан-теклизы и Кантагская седловина). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 467 с.
8. Возможности открытия новых крупных залежей нефти в главном поясе газонефтеносности Лено-Тунгусской провинции / Н.В. Мельников, А.А. Вымятин, П.Н. Мельников, Е.В. Смирнов // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 5–6. – С. 701–702.
9. Фомин А.М., Моисеев С.А. Характеристика резервуаров нефти и газа в кембрийских отложениях центральной части Сибирской платформы // XV Международный научный конгресс Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – Новосибирск, 2019. – Т. 2. – № 1. – С. 183–191.
10. Никулина М.Ю., Мышевский Н.В., Никулин Е.В. Классические и аномальные объекты, выявленные в результате проведения геолого-разведочных работ на участках ООО «ИНК» // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 9. – С. 26–29.
11. Новый взгляд на старое месторождение: перспективы нефтеносности осинского горизонта Братского месторождения Иркутской области / В.А. Ванин, С.А. Урядов, Е.Е. Боровкова, Ю.Р. Мамеева, В.О. Сафронов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – № 10 (346). – С. 22–27.
12. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы. – Новосибирск: СО РАН, 2009. – 148 с.
13. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы / С.С. Сухов, Ю.Я. Шабанов, Т.В. Пегель, С.В. Сараев, Ю.Ф. Филиппов, И.В. Коровников, В.М. Сундуков, А.Б. Федоров, А.И. Варламов, А.С. Ефимов, В.А. Конторович, А.Э. Конторович. – Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2016. – 497 с.
14. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture: Classification of carbonate rocks // AAPG Bulletin. – 1962. – V. 1. – P. 108–121.
15. Embry A.F., Klovan J.E. A late devonian reef tract on northeastern Banks Island Northwest Territories // Bulletin of Canadian Petroleum Geology. – 1971. – V. 19. – № 4. – P. 730–781.
16. Flat-pebble conglomerate: its multiple origins and relationship to metre-scale depositional cycles / P.M. Murow, L. Tice, B. Archuleta, B. Clark, J.F. Taylor, R.L. Ripperdan // Sedimentology. – 2004. – V. 51. – P. 973–996.
17. Shinn E.A. Tidal flat environment // AAPG Bulletin. – 1991. – V. 13. – P. 172–210.
18. Harwood C.L., Sumner D.Y. Origins of microbial microstructures in the Neoproterozoic Beck Spring Dolomite: variations in microbial community and timing of lithification // Journal of Sedimentary Research – 2012. – V. 82. – P. 709–722.
19. Glumac B., Walker K.R. Selective dolomitization of Cambrian microbial carbonate deposits: a key to mechanism and environments of origin // PALAIOS – 1997. – V. 12. – P. 98–110.
20. Warren J. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations // Earth Science Reviews. – 2000. – V. 52. – № 1/3. – P. 1–81.
21. Choquette Ph.W., Pray L.C. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates // AAPG Bulletin. – 1970. – V. 54. – № 2. – P. 207–250.

Поступила 15.06.2022 г.

Информация об авторах

Вараксина И.В., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Иванова Н.А., кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела геологии Восточной Сибири, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья.

UDC 552.58:551.732.2:553.98

LITHOFACIAL CHARACTERISTIC AND PETROLEUM POTENTIAL OF THE OSINSKY PRODUCTIVE HORIZON OF THE BOLSHETIRSK DEPOSIT (EASTERN SIBERIA)

Irina V. Varaksina¹,
varaksinalV@ipgg.sbras.ru

Natalia A. Ivanova²,
ivanovana@sniiggims.ru

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 3, Koptyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.

² Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 67, Krasny avenue, Novosibirsk, 630091, Russia.

The relevance. Eastern Siberia is an area with large hydrocarbon resources that play an important role in the development of the Russian oil and gas complex. The terrigenous Vendian was the main object of prospecting and exploration in this area for a long time. However the commercial oil and gas potential of the Vendian–Lower Cambrian carbonate complex with a complicated structure and intense variability of reservoir properties has been proven in recent decades. In this relation a detailed study of the lithological factors of the formation of carbonate reservoirs is necessary for the optimal development of deposits confined to this complex.

The object: carbonate deposits of the Osinsky productive horizon of the Lower Cambrian, exposed by deep drilling at the Bolshetirsk deposit.

The aim of the research is to identify the levels with the best reservoir properties on the basis of lithofacies analysis.

Methods: mineralogical and petrographic study of core material and typification of sediments; facies analysis of lithological types (lithotypes) of rocks; correlation of reservoir properties with different lithotypes.

Results. It was established that Osinsky horizon is characterized by a heterogeneous structure due to the periodic change of environments on the shallow shelf: from tidal plains and seabeds to shallows and biohermal buildups of the upper sublittoral. It was shown that differences in sedimentation conditions affected the structure of the primary void space. However the post-sedimentation processes became the determining factor in the formation of reservoir properties, but their role was ambiguous. It was found that the secondary mineralization of voids practically destroyed the reservoir potential of bar and bioherm deposits with highest primary porosity. The level of development of the highest-capacity reservoir is confined to the most dolomitized sediments of the littoral zone.

Key words:

Eastern Siberia, Osinsky productive horizon, lithology, reservoirs, Lower Cambrian.

The research was carried out within the subject FWZZ-2022-0008 of the State program of Fundamental Scientific Research.

REFERENCES

- Kushmar I.A., Grigorenko Yu.N., Ananiev V.V., Belinkin V.A., Gubina E.A. *Neft i gaz Vostochnoy Sibiri* [Oil and gas of Eastern Siberia]. Saint Petersburg, Nedra Publ., 2006. 102 p.
- Efimov A.S., Gert A.A., Melnikov P.N., Staroseltsev V.S., Vymyatyn A.A., Akimov V.G., Cherepanova I.I., Brazhnikova M.V. On the state and prospects of hydrocarbon resource base, exploration works and subsurface licensing of Eastern Siberia and the Sakha Republic (Yakutia). *Geology of oil and gas*, 2012, no. 5, pp. 57–74. In Rus.
- Efimov A.S., Gert A.A., Smirnov M.Y., Smirnov E.V., Brazhnikova M.V. Neftegazovyy potencial Rossii: sostoyanie i perspektivy [Oil and gas potential of Russia: state and perspective]. *ATR glazami ekspertov (mezhdunarodnaya ekspertiza 2005–2019 gg.)* [APR views of the experts (International Expertise 2005–2019)]. Moscow, 2019, pp. 136–147.
- Filimonova I., Komarova A., Nemov V., Provornaya I. Sustainable development of Russian energy sector: Hydrocarbons of Eastern Siberia. *The 20th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management. Book of Abstracts*. Albena, Bulgaria, 16–25 August 2020, pp. 777–783.
- Antsiferov A.S., Bakin V.E., Vorobev V.N., Grebenkin T.Ya., Drobot D.I., Zoteev A.M., Kontorovich A.E., Larichev A.I., Leontovich V.B., Mandelbaum M.M., Matveev V.D., Melnikov N.V., Obukhovich G.A., Rybyakov B.L., Samsonov V.V., Staroseltsev V.S., Surkov V.S., Trofimuk A.A., Fradkin G.S., Fuks B.A., Cherskiy N.V., Shamal A.I., Shemin G.G. *Nepsko-Botuobinskaya antekliza – novaya perspektivnaya oblast dobychi nefii i gaza na Vostoke SSSR* [Nepa-Botuoba anticline – a new perspective area of oil and gas production in the East of the USSR]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 245 p.
- Vorobeyov V.N., Moiseev S.A., Topeshko V.A., Sitnikov V.S. Hydrocarbon fields in the central part of the Nepa-Botuoba anticline. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2005, no. 7, pp. 4–17. In Rus.
- Shemin G.G. *Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti vendi i nizhnego kembriya tsentralnykh rayonov Sibirskoy platformy (Nepsko-Botuobinskaya, Baykitskaya anteklizy i Katangskaya sedlovina)* [Geology and prospects of Vendian and Lower Cambrian hydrocarbon potential in the central regions of Siberian platform (Nepa-Botuoba, Baikit anticlines and Katanga saddle)]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2007. 467 p.
- Melnikov N.V., Vymyatyn A.A., Melnikov P.N., Smirnov E.V. Predicted new large oil pools in the main petroliferous belt of the Lena-Tunguska province. *Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 5–6, pp. 701–702. In Rus.
- Fomin A.M., Moiseev S.A. Kharakteristika rezervuarov nefii i gaza v kembriyskikh otlozheniyakh tsentralnoy chasti Sibirskoy platformy [Characteristics of oil and gas tanks in Cambrian deposits of the central part of the Siberian Platform]. *XV Mezhdunarodny nauchny kongress Interekspo GEO-Sibir* [XV International Scientific Congress Interexpo GEO-Siberia]. Novosibirsk, 2019. Vol. 2, no. 1, pp. 183–191.
- Nikulina M.Yu., Myshevsky N.V., Nikulin E.V. Classic and anomalous objects identified as a result of geological exploration at the aries of Irkutsk Company. *Oil industry*, 2020, no. 9, pp. 26–29. In Rus.
- Vanin V.A., Uryadov S.A., Borovkova E.E., Mameeva Yu.R., Saffronov V.O. A new look at the old deposit: oil prospects for the Osinsky horizon oil potential of the Bratsk deposit in the Irkutsk

- region, *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2020, no. 10 (346), pp. 22–27. In Rus.
12. Melnikov N.V. *Vend-kembriyskiy solenosny basseyn Sibirskoy platform* [Vendian-Cambrian saline basin of Siberian Platform]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2009. 148 p.
 13. Sukhov S.S., SHabanov Yu.Ya., Pegel T.V., Saraev S.V., Filipov Yu.F., Korovnikov I.V., Sundukov V.M., Fedorov A.B., Varlamov A.I., Efimov A.S., Kontorovich V.A., Kontorovich A.E. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Kembriy Sibirskoy platformy* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Cambrian of Siberian Platform]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2016. 497 p.
 14. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture: Classification of carbonate rocks. *AAPG Bulletin*, 1962, vol. 1, pp. 108–121.
 15. Embry A.F., Klovan J.E. A late devonian reef tract on north-eastern Banks Island Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1971, vol. 19, no. 4, pp. 730–781.
 16. Murow P.M., Tice L., Archuleta B., Clark B., Taylor J.F., Ripperdan R.L. Flat-pebble conglomerate: its multiple origins and relationship to metre-scale depositional cycles. *Sedimentology*, 2004, vol. 51, pp. 973–996.
 17. Shinn E.A. Tidal flat environment. *AAPG Bulletin*, 1991, vol. 13, pp. 172–210.
 18. Harwood C.L., Sumner D.Y. Origins of microbial microstructures in the Neoproterozoic Beck Spring Dolomite: variations in microbial community and timing of lithification. *Journal of Sedimentary Research*, 2012, vol. 82, pp. 709–722.
 19. Glumac B., Walker K.R. Selective dolomitization of Cambrian microbial carbonate deposits: a key to mechanism and environments of origin. *PALAIOS*, 1997, vol. 12, pp. 98–110.
 20. Warren J. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth Science Reviews*, 2000, vol. 52, no. 1/3, pp. 1–81.
 21. Choquette Ph.W., Pray L.C. Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. *AAPG Bulletin*, 1970, vol. 54, no. 2, pp. 207–250.

Received: 15 June 2022.

Information about the authors

Irina V. Varaksina, Cand. Sc., senior researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Natalia A. Ivanova, Cand. Sc., senior researcher, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources.