Научная статья
УДК 551.351
https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-246-264

Биогермы Божеханского поднятия Предбайкальского прогиба – краевой барьерно-рифовой системы кембрийского соленосного бассейна юга Сибирской платформы

Андрей Гелиевич Вахромеев[a,b], Татьяна Александровна Корнилова[a], Наталья Викторовна Мисюркеева[a], Роман Сергеевич Уренко[a], Аркадий Михайлович Станевич[a], Наталья Ивановна Степанова[a], Максим Сергеевич Пуляевский[b,c]

[a]*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия*
[b]*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*
[c]*АО «Верхнечонскнефтегаз»,*
Автор, ответственный за переписку: Вахромеев Андрей Гелиевич, andrey_igp@mail.ru

Резюме. В настоящее время прогноз, разведка и освоение залежей и месторождений углеводородов в природных карбонатных резервуарах погребенных биогермных (рифовых) построек на севере Иркутской области и в Республике Саха (Якутия) в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы базируются на самых современных технологиях объемных 3D сейсморазведочных работ, а также электроразведки с набором новых интерпретационных подходов и атрибутов анализа в сопровождении широкого комплекса геофизических исследований скважин. На фоне новых открытий углеводородных месторождений в рифах северных территорий забыты биогермные объекты на юге Иркутского амфитеатра. Цель представленной работы – геологическое изучение биогермных карбонатных толщ нижнекембрийского возраста в обнажениях Божеханского мегавала в Прибайкалье. Выбор данного объекта исследования обусловлен тем, что первые притоки нефти и газа были получены в скважинах Атовской, Осинской, Биркинской, Христофоровской, Балыхтинской, Тутурской площадей. Проведены полевые геологические маршруты и камеральная обработка данных по распилам и пришлифованным поверхностям образцов, произведены микроскопические исследования в шлифах образцов и архивных коллекций керна глубоких нефтегазопоисковых скважин. В геологических маршрутах 2021–2022 гг. на юге Иркутского амфитеатра по обнажениям кембрийских карбонатных пород в пределах сложнопостроенного Божеханского мегавала авторами данного исследования изучены пластовые, желваковые и столбчатые строматолиты. Широко представленные на выделенной территории карбонатные внутриформационные осадочные брекчии весьма разнообразны по размерам обломков и включений. Особенности внутреннего строения строматолитов изучены по распилам и пришлифованным поверхностям образцов. В шлифах также выявлены и описаны микрофитолиты. Ко всему прочему, авторам представилась возможность изучить архивную коллекцию шлифов керна, отобранного из карбонатных толщ венда – кембрия и нижнего кембрия Ахинских скважин в районе Божеханского мегавала и северо-западнее, в области Верхнеленского поднятия. В результате проведенного исследования можно полагать, что обнаженные участки биогермов кембрия Божеханского валообразного поднятия Предбайкальского прогиба в определенном смысле являются эталонными геологическими объектами. Изучение биологического и генетического разнообразия фитолитов нижнего кембрия, диагностических признаков органогенных сооружений, их внутреннего строения, процессов формирования рифовой экосистемы может быть своеобразным регионально-прогнозным ключом к исследованию строения кембрийской осадочной системы юга Сибирской платформы.

Ключевые слова: Предбайкальский прогиб, нижний кембрий, биоморфные карбонаты, строматолиты, фитолиты, биогермы, окремнение

Финансирование: Подготовка данных выполнена в рамках научно-исследовательской работы по проекту № 0280-2021-0008, а также гранта № 075-15-2021-682. Частично задействовано оборудование Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН (поляризационный микроскоп Olympus BX41).

Для цитирования: Вахромеев А. Г., Корнилова Т. А., Мисюркеева Н. В., Уренко Р. С., Станевич А. М., Степанова Н. И. [и др.]. Биогермы Божеханского поднятия Предбайкальского прогиба – краевой барьерно-рифовой системы кембрийского соленосного бассейна юга Сибирской платформы // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 3. С. 246–264. https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-246-264.

© Вахромеев А. Г., Корнилова Т. А., Мисюркеева Н. В., Уренко Р. С., Станевич А. М., Степанова Н. И., Пуляевский М. С., 2022

Original article

Bioherms of the Bozhekhan uplift in the Cis-Baikal trough as a marginal barrier reef system of a Cambrian salt basin of the southern Siberian platform

Andrey G. Vakhromeev[a,b], Tatiana A. Kornilova[a], Natalia V. Misurkeeva[a], Roman S. Urenko[a], Arkadiy M. Stanevich[a], Natalia I. Stepanova[a], Maksim S. Pulyaevskiy[b,c]

[a]*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*
[b]*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*
[c]*Verkhnechonskneftegaz JSC, Irkutsk, Russia*
Corresponding author: Andrey G. Vakhromeev, andrey_igp@mail.ru

Abstract. Modern forecast, exploration and development of hydrocarbon deposits within natural carbonate reservoirs of buried bioherm (reef) structures in the north of the Irkutsk region and the Sakha Republic (Yakutia) areas within the Nepa-Botuoba Anticline apply the most advanced technologies of 3D seismic exploration and geoelectric prospecting supplemented with a set of new interpretation approaches and analysis attributes contrasted against wide range of well logging data. The recent discoveries of hydrocarbon deposits in the northern reefs shoved the bioherms of the Irkutsk amphitheater in the shadow. The purpose of this research is geological study of biohermal carbonate formations of the Lower Cambrian age in the outcrops of the Bozhekhansky megaswell in the Baikal region. The choice of this object of study is due to the fact that the first oil and gas inflows were obtained from the wells of the Atovskaya, Osinskaya, Birkinskaya, Khristoforovskaya, Balykhtinskaya and Tuturskaya areas. Field geological routes and office processing of data on cuts and polished thin sections of sample surfaces were carried out including microscopic studies in the thin sections of samples and archival collections of cores from deep oil and gas prospecting wells. In 2021–2022, while prospecting in the south of the Irkutsk amphitheater, the authors explored stratified, nodular and columnar stromatolites found within the compound Bozhekhan megaswell of Cambrian carbonate outcroppings. Carbonate intraformational sedimentary breccias identified in the area under investigation feature a great variety in their fragment sizes and inclusions. The stromatolites' structural features were studied by the cuts and polished thin sections of sample surfaces. Microphytolites were found in the thin sections and described. The authors also took advantage of the opportunity to study an archive collection of the thin sections of Vend-Cambrian and Lower Cambrian carbonate strata from the Akhinskaya area's wells at the Bozhekhan megaswell and from the Upper-Lena uplift to the north-west. The conducted study implies that Cambrian bioherm outcroppings of the Bozhekhan megaswell-type uplift within the Cis-Baikal trough are, in a sense, model geologic objects. The study of biologic and genetic varieties of Lower Cambrian phytolites, diagnostic features of the organogenic structures, their inner structure and formation processes of the reef ecosystem may provide a region-level prognostic key to the research of Cambrian sediment system in the south of the Siberian platform.

Keywords: Cis-Baikal trough, Lower Cambrian, biomorphic carbonates, stromatolites, phytolites, bioherms, silification

Funding: The data were prepared within the framework of the research work under the project no. 0280-2021-0008, and the grant no. 075-15-2021-682. The equipment of the Research Equipment Sharing Center "Geodynamics and Geochronology" of the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Olympus BX41 polarization microscope) was partially used.

For citation: Vakhromeev A. G., Kornilova T. A., Misurkeeva N. V., Urenko R. S., Stanevich A. M., Stepanova N. I., et al. Bioherms of the Bozhekhan uplift in the Cis-Baikal trough as a marginal barrier reef system of a Cambrian salt basin of the southern Siberian platform. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use.* 2022;45(3):246-264. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-246-264.

Введение

Геологическое строение карбонатных толщ в краевых областях Восточно-Сибирского солеродного мегабассейна более века вызывает повышенный интерес у геологов – примерами тому могут служить известные работы В. А. Обручева 1892, 1897, 1935 гг. [1 и др.]. В толще нижнекембрийских осадочных отложений юга Сибирской платформы более 80 % разреза представляют первично карбонатные осадки[1,2]. Карбонатные горизонты и разделяющие их толщи представлены раз-

[1] Шашин С. Г., Комарова Н. И., Неустроев В. Л. Методические рекомендации по комплексной оценке карбонатных коллекторов при подсчете запасов нефти и газа в залежах Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во ВостСибНИИГГиМС, 1991. 112 с.

[2] Шашин С. Г., Буддо Л. А., Комарова Н. И., Ильин А. С., Винокуров В. Ф. Рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефтегазоносных горизонтов Иркутского амфитеатра. Иркутск: Изд-во ВостСибНИИГГиМС, 1977. 60 с.

личными генетическими типами карбонатных, галогенных и сульфатно-карбонатных пород [2, 3 и др.], отложение которых шло в бассейнах с морским или эвапоритовым режимом осадконакопления в различных фациальных зонах, последовательно сменявшихся в разрезе и пространстве. По условиям седиментации в разрезе выделяются органогенные, обломочные и хемогенные доломиты.

На региональных стадиях изучения кембрийских толщ органогенные карбонаты (точнее, микрофитолиты и остатки скелетной фауны) рассматривались как индикаторы возраста при разработке стратиграфических схем[3] [4–7 и др.]. «Биогенной же инситной природе материала и его активной роли в строительстве подводного рельефа» [3, с. 67] детального внимания не уделялось. Сегодня доказано «формирование многочисленных» бассейнов – «и открыто морских, и закрытошельфовых (в их числе Иркутский, Непский и другие), разделенных карбонатными платформами» [3, с. 66], вместо одного [2, 8] эпиконтинентального. Принципиально также положение о существовании на территории юга Сибирской платформы в кембрии не только отдельных органогенных построек, но и краевых барьерно-рифовых систем, типичных для карбонатных бассейнов мира, «формирование толщ в режимах и динамике, поразительно сходной для разных континентов во все времена геологической истории» [3, с. 77]. По мере роста изученности кембрийского разреза гигантского Восточно-Сибирского солеродного мегабассейна формируется и новое представление об эволюции в кембрии окраин его замыкания. С акцентом на северные территории платформы активно развиваются новые подходы и геологические модели формирования биогермных построек[4] [3, 9–14 и др.], формализованные по данным современных объемных сейсморазведочных работ, электроразведки и бурения, а также методология реконструкции фациально-седиментационной зональности кембрийских отложений [14].

Это веское основание вернуться к геолого-геофизическим материалам и результатам структурного и нефтегазопоискового бурения прошлых лет на юге, в пределах южного фаса Верхнеленского поднятия Иркутского амфитеатра [15–18], где бурением были вскрыты первые на Сибирской платформе органогенные карбонатные коллекторы (Атовка, Христофорово, Ахины). Здесь, в краевой области юга Сибирской платформы, в 60-е годы XX века глубоким бурением установлено системное обессоливание разреза нижнего кембрия. Многие исследователи [5, 6, 19–22 и др.] трактовали это явление как фациальный переход кембрийских галогенно-карбонатных толщ в карбонатные посредством фациального замещения, смещения палеогеографических условий осадконакопления. Восточная граница фациального замещения разделяла области замкнутых лагун и открытого морского бассейна, области повышенной и пониженной солености. Такой разделяющей, барьерной структурой в краевой зоне Иркутского амфитеатра является Божеханское линейное поднятие, или мегавал (рис. 1, *а*), сформированный в осадочных толщах венда и нижнего кембрия и вскрытый бурением скважин Каменских 1, 2, Божеханской-1. Это самая крупная линейная положительная структура южной части внешнего крыла Ангаро-Ленского палеопрогиба [5] в осадочном чехле. Согласно И. К. Королюк, «…в нижнем кембрии произошло резкое расчленение Восточно-Сибирского бассейна на два: нормально морской и западный – осолоненный» [19], что подтверждается резким различием микропроблематики.

Как пограничная линейная структура, достоверно выявленная бурением не только кембрийских отложений, но и отложений терригенного венда[5] [6, 24], Божеханский мегавал (или антиклинал) протягивается от окрестностей

[3] Титоренко Т. Н., Анисимова С. А., Анисимов А. Ю. Палеонтология докембрия. Фитолиты (строматолиты и микрофитолиты): учеб.-метод. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012. 117 с.

[4] Китаева И. А. Типы и генезис фильтрационно-емкостного пространства пород-коллекторов нижнекембрийских карбонатных отложений юго-западного склона Непско-Ботуобинской антеклизы: дисс. … канд. геол.-минерал. наук: 25.00.06. М., 2020. 179 с.

[5] Старосельцев В. С., Мельников Н. В., Гришин М. П. [и др.]. Тектоническая карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. М-б 1:5000000. Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 2012.

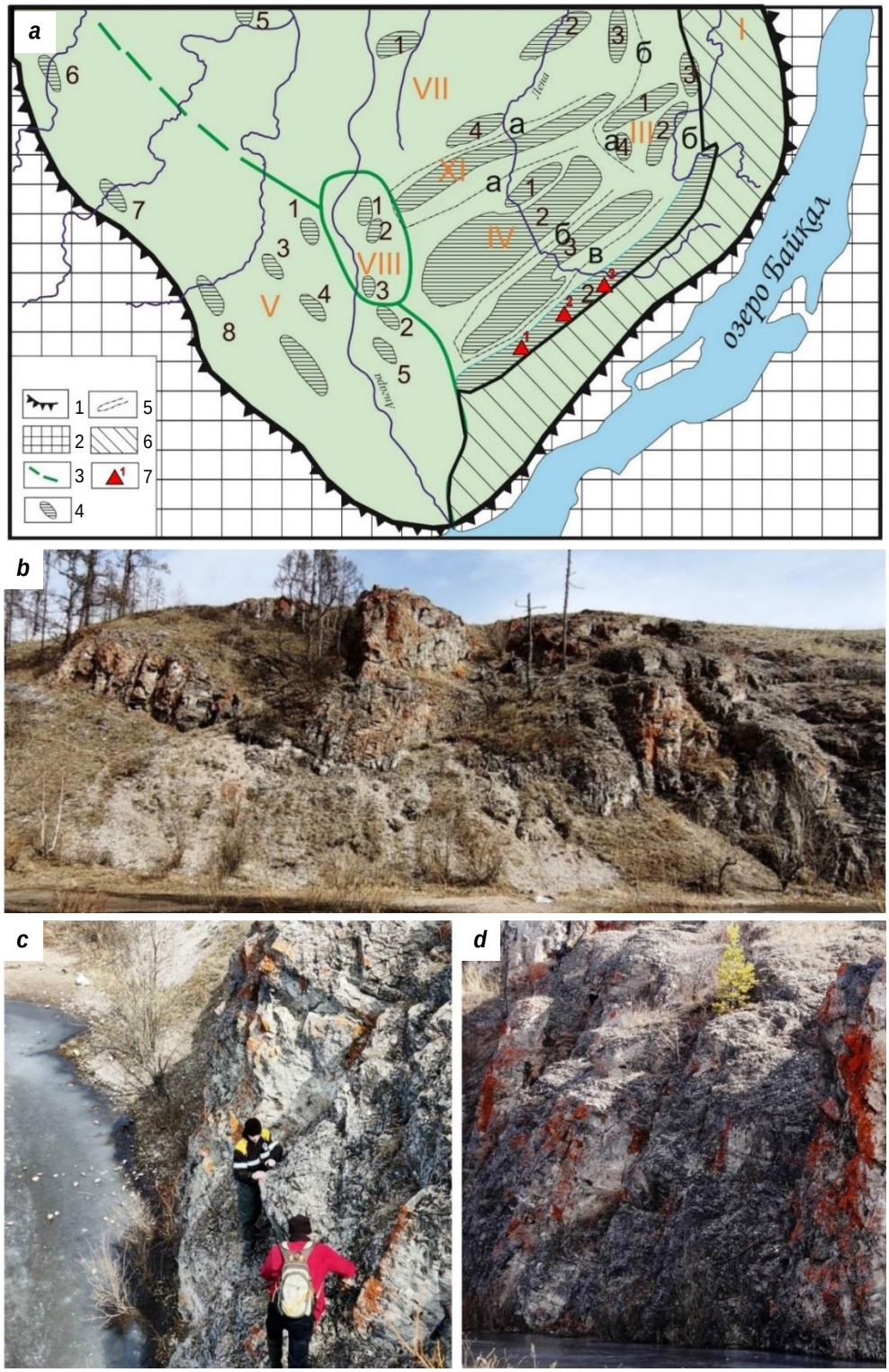

Рис. 1. Объект исследования:

a – выкопировка из схемы структурно-тектонического районирования юга Сибирской платформы по соленосному и надсоленосному комплексам осадочного чехла, Божеханский мегавал (2) на юго-востоке Ангаро-Ленского палеопрогиба как ограничение солеродного бассейна, масштаб 1:3000000: 1 – граница современного сплошного распространения осадочных отложений, 2 – Саяно-Байкальская граница, 3 – граница структурных зон, 4 – ветви антиклинальных складок, валов и отдельных антиклинальных поднятий, 5 – оси прогибания, 6 – Предбайкальский прогиб, 7 – участки полевых маршрутов (1 – Каменский, 2 – Манзурско-Кырминский, 3 – Лено-Иликтинский) [5, 20, 23]; b – биогермная постройка в толще ангарской и литвинцевской свит в обнажении юго-восточного крыла Божеханского мегавала, Каменский участок; c – геологический маршрут; d – столбчатые строматолиты («столбы») в составе биогермного массива (фото А. Г. Вахромеева)

Fig. 1. Object of study:
a – an extract from the scheme of structural-tectonic zoning of the south of the Siberian platform along the salt-bearing and suprasalt-bearing complexes of the sedimentary cover, the Bozhekhansky megaswell (2) in the southeast of the Angara-Lena paleotrough as a limitation of the salt basin, scale 1:3000000: 1 – boundary of the modern continuous distribution of sedimentary deposits, 2 – Sayano-Baikal boundary, 3 – boundary of structural zones, 4 – branches of anticlinal folds, swells and individual anticlinal uplifts, 5 – axes of subsidence, 6 – Cis-Baikal depression, 7 – sections of field routes (1 – Kamensky, 2 – Manzursko-Kyrminsky, 3 – Lena-Iliktinsky) [5, 20, 23]; b – bioherm edifice within the Angara and Litvintsevskaya formations in the outcrop of the southeastern flank of the Bozhekhansky megaswell, Kamensky site; c – geological route; d – columnar stromatolites ("pillars") within the bioherm massif (photos by A. G. Vakhromeev)

пос. Усть-Орда на северо-восток за р. Лену на расстояние более чем 300 км при ширине около 10 км [20, 21, 23, 24], он также изучен региональным профилем «Ковыкта – Предпатом» [25] через Шонский лицензионный участок.

Поднятие имеет ширину от 5 до 30 км, амплитуду в 500–800 м, реже до 1000 м, очень крутые (до 90°) углы падения в осевой зоне и более пологие (10–15°) на крыльях. В сводовой части оно расчленяется на ряд линейных или куполовидных структур, сформированных в доюрское время. До ранней юры они были денудированы, глубина денудационного среза составила более 1000 м [21]. На геологических картах это поднятие проявляется выходами пород нижнего кембрия (рис. 1, *b–d*) среди поля развития отложений средне-верхнекембрийского, юрского и третично-четвертичного возраста.

Юго-восточнее поднятия расположена протяженная синклиналь, распадающаяся на ряд пологих относительно крупных впадин и отделяющая Божеханское поднятие от зоны сплошной мелкой линейной складчатости Прибайкалья.

В литературе Божеханская структура известна под разными названиями: вал [26], сводовое поднятие [27], валообразное поднятие [26], антиклинорий [28], антиклиналь [29], поднятие [19]. Поднятие проявляется выходами пород нижнего кембрия (нижняя часть ангарской свиты) среди отложений верхнекембрийского, юрского и третично-четвертичного времени. По морфологическим особенностям структура разделена на четыре крупных участка [19]: Лено-Иликтинский, Манзурско-Кырминский, Каменский, Кудинский, которые названы по соответствующим рекам, секущим их почти вкрест простирания. Территория осадочного чехла к северо-востоку от Божеханского поднятия, «зажатая» двумя протяженными мегавалами – Божеханским и Жигаловским, была обособлена в Верхнеленскую (Качугскую) структурную зону. Согласно В. Б. Мазуру [24], Е. А. Адамову и др. [30], М. А. Жаркову и Э. И. Чечелю [5], здесь выделяется крупная Илгинская палеовпадина, ограниченная с севера Жигаловским, а с юга Божеханским валами и выполненная в поверхностной части верхнекембрийскими красноцветами, смятыми в мелкие удлиненные куполовидные складки.

Материалы и методы исследования

Идея комплексирования детальных полевых исследований кембрийских отложений по естественным обнажениям в Предбайкальском краевом прогибе, данных сейсмического профилирования и анализа материалов глубокого поисково-разведочного бурения была реализована геологами-нефтяниками в Иркутском амфитеатре уже в 50–60-х годах XX века на достижимом в те годы уровне технологий геологической разведки. Итогом такого действительно комплексного подхода стали первые притоки углеводородов в скважинах Атовской, Радуйской, Осинской площадей и открытие первых залежей (Балыхта, Атовка, Христофорово) и месторождений (Верхне-Марково) нефти и газа в карбонатных природных резервуарах нижнего кембрия.

В одной из работ И. К. Королюк сказано следующее: «Особенностью южной половины Божеханского поднятия является широкое развитие здесь мелких онкоидов. Онкоиды в массовом количестве встречаются на крыльях и сводах отдельных куполовидных поднятий. Иногда они располагаются вблизи друг друга, иногда в виде одиночных, рассеянных построек. Большое количество онкоидов в

районе наталкивает на мысль, не могут ли быть отдельные крупные куполовидные структуры, описанные выше, рифогенными, а не тектоническими» [19]. На основании исследований и выводов И. К. Королюк [6, 19, 31,32], а также собственных исследований карбонатных пород докембрия и кембрия в обнажениях и в шлифах авторами настоящей статьи было сформулировано предположение о том, что и осевая часть Ахинского вала с венда – кембрия, сопредельного Божеханскому, также была положительной структурной формой – выступом, на котором периодически формировались органогенные коллекторы, в том числе постройки барьерного рифового типа (рис. 2, см. рис. 1, *b–d*). Ведь по данным геолого-разведочных работ прошлых лет в осинском, христофоровском, биркинском, бильчирском и келорском горизонтах нижнего кембрия органогенные карбонатные породы-коллекторы имеют широкое распространение на территории Иркутского амфитеатра (скважины в пос. Ахины, Бильчир, Бирка, Радуй, Христофорово, Атовка). Вероятно, что в этот период в кембрийском солеродном бассейне были отдельные участки мелкого моря [23, 30, 33, 34]. Подобное явление описано для Непско-Ботуобинской антеклизы[6] [2, 9, 35, 36], где разведочным бурением вскрыты органогенные карбонатные коллекторы и шлейфы их разрушения в преображенском, усть-кутском и осинском горизонтах. Сегодня это высокоперспективные объекты геолого-разведочных работ и нефтедобычи, поисково-разведочные работы сориентированы на выявление и локализацию таких построек.

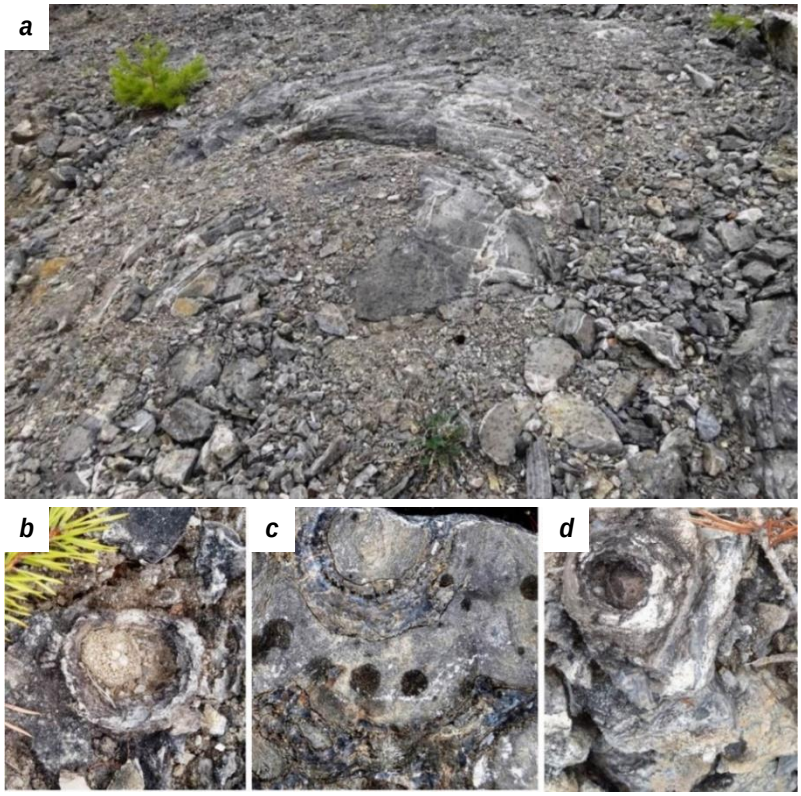

Рис. 2. Фрагмент Кырминско-Манзурского участка одной из строматолитовых построек Божеханского вала:

a – купол крупного онкоида (калиптра) ангарской свиты нижнего кембрия с выраженной концентрической слоистостью; b–d – выветрелые, частично окремненные фрагменты строматолитов Conophyton (?), ангарская свита (фото А. Г. Вахромеева)

Fig. 2. Fragment of the Kyrminsky-Manzursky site of one of the stromatolite structures of the Bozhekhansky swell:

a – dome of a large oncoid (calyptra) of the Angara Formation of the Lower Cambrian with a pronounced concentric layering; b–d – weathered, partially silicified fragments of stromatolites Conophyton (?); the Angara Formation (photos by A. G. Vakhromeev)

[6] Старосельцев В. С., Мельников Н. В., Гришин М. П. [и др.]. Тектоническая карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. М-б 1:5000000. Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 2012.

Результаты исследования

В течение 2018–2022 гг. авторам работы удалось организовать изучение ряда нижнекембрийских обнажений Божеханского вала в полевых геологических маршрутах. Один из объектов полевых исследований показан на рис. 1, *b*–*d*. Исследованы и описаны в обнажениях биогермные постройки ангарской и литвинцевской свит (нерасчлененные) нижнего кембрия, представленные водорослевыми карбонатами – известняками, доломитами, окремненными фрагментами, а также сингенетическими (конседиментационными) осадочными брекчиями. Строматолитовые карбонаты формируют различные по морфологии тела – пластовые, желваковые и караваеобразные – с диаметром шляп до 1,5–2 м и более (см. рис. 1, *d*, рис. 2, *a*). Фото крупного локального караваеобразного онкоида (термин И. К. Королюк) или калиптра (термин И. Т. Журавлевой) приведено на рис. 2, *a*.

По результатам полевых маршрутов в биогермных постройках подтверждено значительное количество сложнопостроенных строматолитовых пород, изучены и описаны характерные зоны: зона склона, предрифовая зона, представленная карбонатными внутриформационными брекчиями, собственно биогерма и зарифовая зона [37]. Каждая из этих зон охарактеризована представительными образцами прослоев и гнезд онколитов (термин И. К. Королюк), часто окремненных (рис. 3). Водорослевые известняки и доломиты детально описаны в работах И. К. Королюк [6, 19, 31, 32], Т. А. Дольник [4, 38], И. Т. Журавлевой 1964 [39], В. П. Маслова [40–42] и других исследователей. В геологических маршрутах 2021–2022 гг. авторами представленной статьи установлены строматолиты пластовые, желваковые, столбчатые. Широко развиты процессы окремнения строматолитовых построек нескольких стадий (см. рис. 2, 3) и отдельных прослоев, кальцитизации, вторичной трещиноватости. На рис. 3 приведены фотографии строматолитовых и микрофитолитовых карбонатов из обнажений Божеханского поднятия, «отпрепарированных» выветриванием, в палеоплане (см. рис. 3, *a, d*) и в разрезе (см. рис. 3, *b, c, e*). Для данных карбонатов характерно частичное окремнение.

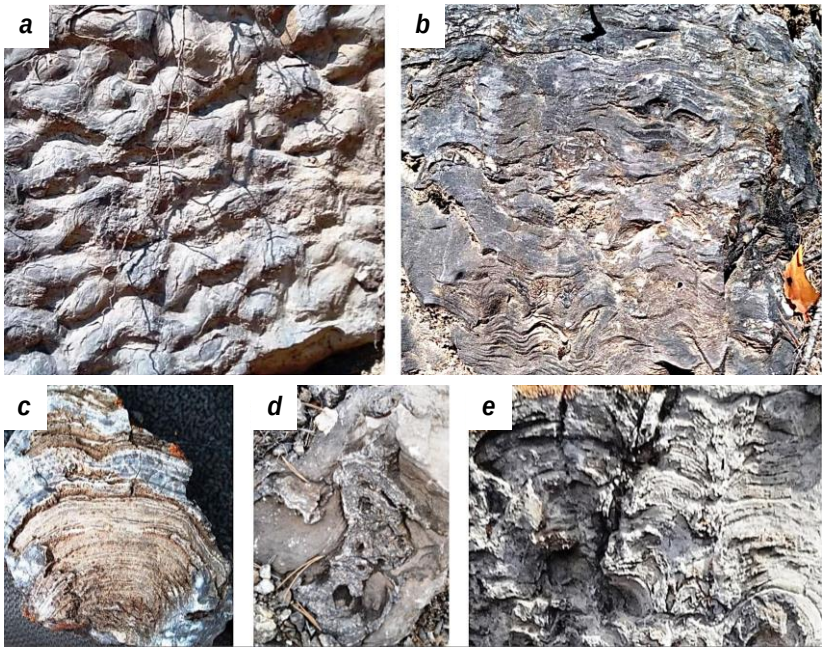

Рис. 3. Строматолитовые и микрофитолитовые карбонаты из обнажений Божеханского поднятия с частичным окремнением, «отпрепарированные» выветриванием

Участки Божеханского вала: a, b – Иликтинский; c, d – Манзурско-Кырминский; e – Каменский (фото А. Г. Вахромеева)

Fig. 3. Stromatolitic and microphytolithic carbonates from the outcrops of the Bozhekhansky uplift with partial silicification, which are "prepared" by weathering

Sites of the Bozhekhansky swell: a, b – Iliktinsky; c, d – Manzursko-Kyrminsky; e – Kamensky (photos by A. G. Vakhromeev)

Практически в каждом геологическом маршруте в массиве обнажения наблюдаются участки залегания брекчированных пород, представленные осадочными карбонатными брекчиями (рис. 4). На некоторых обнажениях брекчии крупнообломочные и даже с гигантскими обломками. В других обломки мелкие, до 0,5 см, и остроугольные, такими брекчиями сложены значительные по площади «поля». Карбонатные внутриформационные брекчии (см. рис. 4) весьма разнообразны по размерам обломков и включений. В то же время они однотипны на территории всего мегавала. Встречены зоны кальцитизации пустотного пространства с цементацией обломков крустификационным кальцитом от белоснежно-белого до желтоватого оттенков (см. рис. 4, *c*).

Следующий этап исследований включает изучение внутреннего строения строматолитов и микрофитолитов по распилам и пришлифованным поверхностям образцов, изготовление шлифов. Исследование микрофитолитов[7] [7, 41–45] позволяет оценить породообразующую роль этих органических остатков, ведь «роль биогенного фактора в образовании микрофитолитов признается большинством исследователей»[8]. По мнению Т. А. Дольник, микрофитолиты «...по своему происхождению <…> близки к строматолитам, однако в отличии от последних являются не прикрепленными к субстрату постройками синезеленых водорослей и бактерий», «микрофитолиты, как и строматолиты, относят к "строителям" биогерм» [4].

На рис. 5 представлены фотографии шлифов с поляризационного микроскопа Olympus BX41 типичных групп микрофитолитов из образцов в зоне развития столбчатых строматолитов с разной морфологией столбиков (коническая, кубковая), отобранных из биогермной

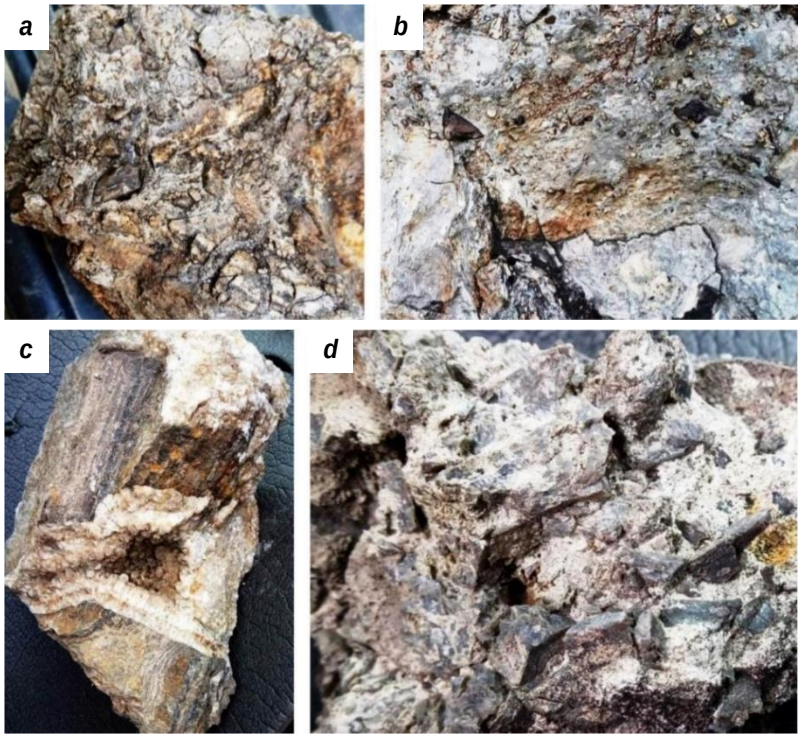

Рис. 4. Карбонатные разнообломочные сингенетичные брекчии, область разрушения биогермов:
a, b, d – внутриформационные брекчии; c – кальцитизация пустотного пространства (фото А. Г. Вахромеева)
Fig. 4. Carbonate heteroclastic syngenetic breccias, area of bioherm destruction:
a, b, d – intraformation breccias; c – void space calcitization (photos by A. G. Vakhromeev)

[7] Рейтлингер Е. А. Атлас микроскопических органических остатков и проблематики древних толщ Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 62 с.
[8] Титоренко Т. Н., Анисимова С. А., Анисимов А. Ю. Палеонтология докембрия. Фитолиты (строматолиты и микрофитолиты): учеб.-метод. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012. 117 с.

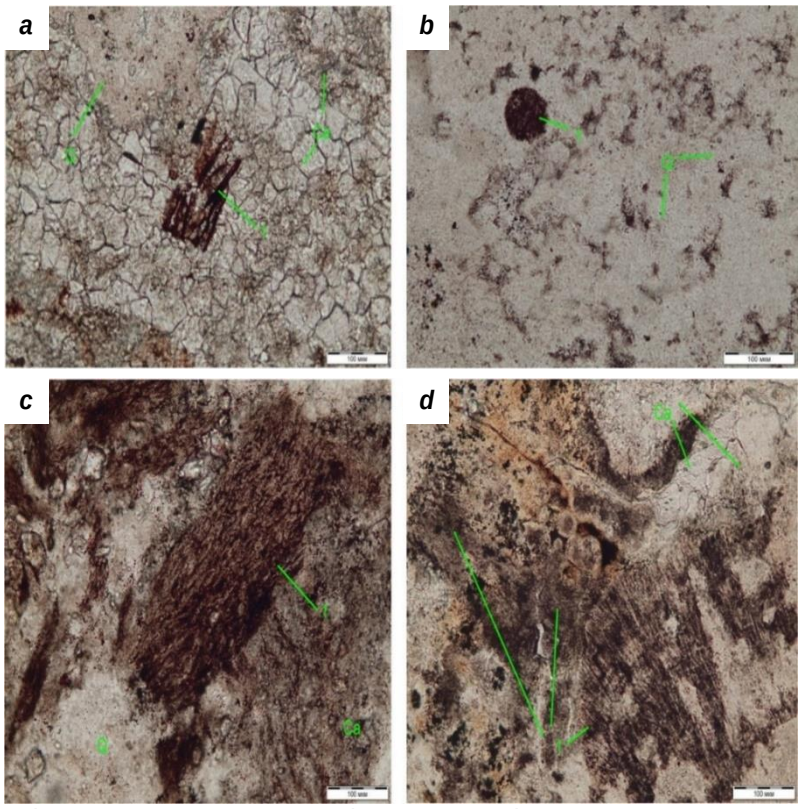

Рис. 5. Микропроблематика в шлифах из образцов, отобранных в зоне развития столбчатых строматолитов Conophyton (?) из биогермной постройки Каменского участка Божеханского мегавала:
a – шлиф 2: Q – халцедоновидный кварц, Ca – кальцит, 1 – нитчатая микрофоссилия Obruchevella aff. inviolate в карбонатном слойке строматолита; b – шлиф 7: Q – халцедоновидный кварц, 1 – микрофоссилия Leiosphaeridia sp.; c – шлиф 9: Q – халцедоновидный кварц, Ca – кальцит, 1 – обрывок слоевища (?) эпифитоновых водорослей; d – шлиф 13: Ca – кальцит,1 – фрагменты эпифитоновых водорослей (?) (фото Т. А. Корниловой, поляризационный микроскоп Olympus BX41)

Fig. 5. Microissues in the thin sections from the samples taken in the development zone of columnar stromatolites Conophyton (?) from the bioherm edifice of the Kamensky site of the Bozhekhansky megaswell:
a – thin section 2: Q – chalcedonic quartz, Ca – calcite, 1 – filamentous microfossil Obruchevella aff. inviolate in the stromatolite carbonate layer; b – thin section 7: Q – chalcedonic quartz, 1 – microfossil Leiosphaeridia sp.; c – thin section 9: Q – chalcedonic quartz, Ca – calcite, 1 – blade fragment (?) of epiphytic algae; d – thin section 13: Ca – calcite, 1 – fragments of epiphytic algae (?) (photos by T. A. Kornilova, Olympus BX41 polarizing microscope)

постройки Каменского участка Божеханского мегавала. Морфология столбиков в основном определяется гидродинамикой среды. В шлифах отмечен халцедоновидный кварц, кальцит, установлены нитчатая микрофоссилия Obruchevella aff. inviolate [46] в карбонатном слойке строматолита, микрофоссилия Leiosphaeridia sp., обрывок слоевища (?) и фрагменты эпифитоновых водорослей (?).

Рис. 6 иллюстрирует фрагмент (пришлифовка) одного из образцов частично окремненного столбчатого строматолита, а также содержит фотографии с поляризационного микроскопа Olympus BX41. Образец отобран из обнажения Каменской постройки Божеханского мегавала. Решалась задача изучения внутреннего строения особенностей микроструктуры строматолитовых слоев – фрагмента в шлифах.

Авторам настоящей статьи также представилась возможность изучить архивную коллекцию шлифов керна (рис. 7), отобранного из карбонатных толщ венда – кембрия и нижнего кембрия из Ахинских скважин в районе Божеханского мегавала и скважин северо-западнее, в области Верхнеленского поднятия: Христофоровской № 5 и Тутурской № 1. В керне нижнекембрийских карбонатов (привязка шлифов по полевому описанию образцов керна на скважине) из скважины Ахинской № 1 отмечены микрофитолитовые (Osagia и Glebosites) доломиты с реликтами сферо-

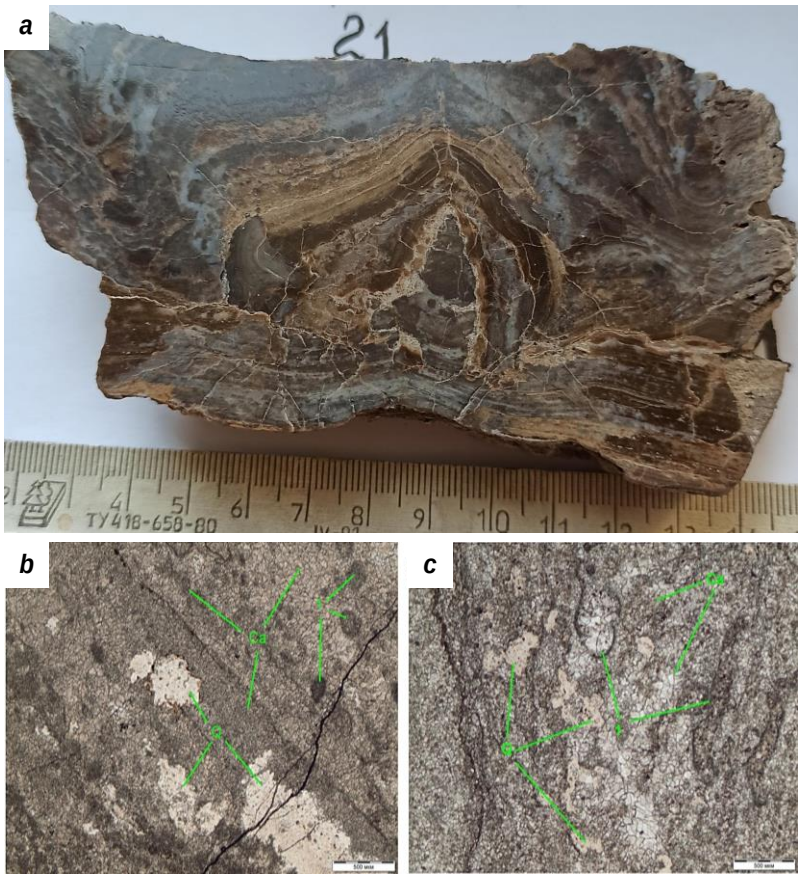

***Рис. 6. Образец (полевой № 21) окремнелого столбчатого строматолита и внутреннее строение фрагмента, особенности микроструктуры слоев**:*
a – пришлифовка распиленного образца; b, c – микроструктура строматолита из образца 21 в шлифах: Q – халцедоновидный кварц, Ca – кальцит,1 – комковатая микроструктура (строматолитовых слоев) (фото Т. А. Корниловой, поляризационный микроскоп Olympus BX41)
Fig. 6. A sample (field no. 21) of silicified columnar stromatolite and the internal structure of the fragment, features of layer microstructure:
a – polished thin section of the saw cut sample; b, c – microstructure of the stromatolite from the sample 21 in thin sections: Q – chalcedonic quartz, Ca – calcite, 1 – lumpy microstructure (stromatolite layers) (photos by T. A. Kornilova, Olympus BX41 polarizing microscope)

морфных (Leiosphaeridia) и нитчатых (Oscillatoriopsis) микрофоссилий, озагиевые органогенные структуры (остатки) (см. рис. 7) глебоситес[9].

Обсуждение полученных результатов

По И. А. Китаевой[10], отложения осинского горизонта Непско-Ботуобинской антеклизы представлены преимущественно доломитовыми породами, а в их основании – различными цианобактериальными биоценозами. В таких доломитах в центральных районах Сибирской платформы в осинском горизонте усольской свиты ранее были выявлены акритархи, микрофитолиты, водоросли, археоциаты и неопределенные обломки трилобитов[11]. Из этих органических остатков наибольшее

[9] Шашин С. Г., Комарова Н. И., Неустроев В. Л. Методические рекомендации по комплексной оценке карбонатных коллекторов при подсчете запасов нефти и газа в залежах Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во ВостСибНИИГГиМС, 1991. 112 с.
[10] Китаева И. А. Типы и генезис фильтрационно-емкостного пространства пород-коллекторов нижнекембрийских карбонатных отложений юго-западного склона Непско-Ботуобинской антеклизы: дисс. … канд. геол.-минерал. наук: 25.00.06. М., 2020. 179 с.
[11] Шашин С. Г., Комарова Н. И., Неустроев В. Л. Методические рекомендации по комплексной оценке карбонатных коллекторов при подсчете запасов нефти и газа в залежах Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во ВостСибНИИГГиМС, 1991. 112 с.

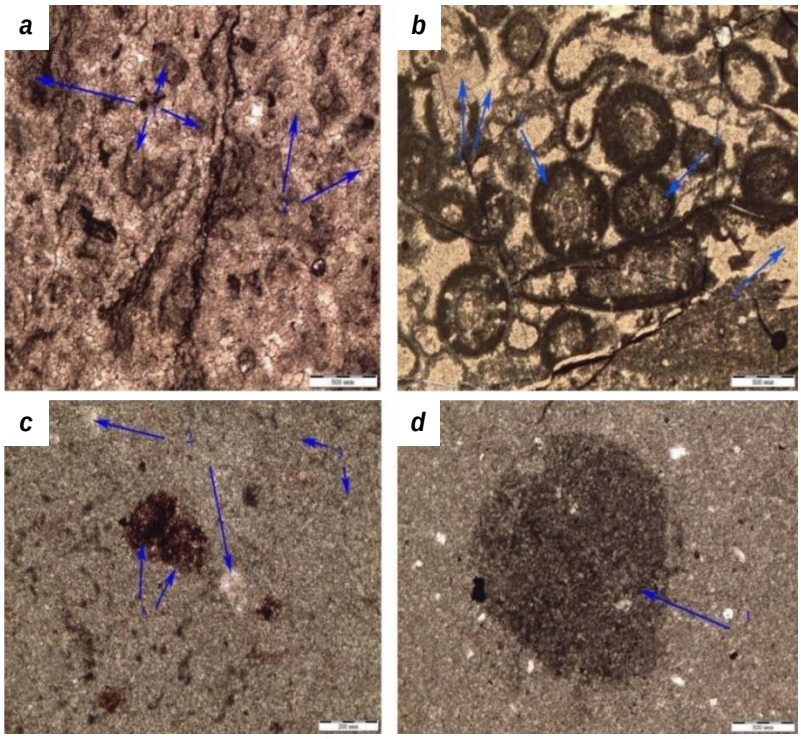

Рис. 7. Фитолиты в шлифах из керна глубоких скважин на северо-западе от Божеханского вала:
a – скважина Ахинская 1Р, глубина 2548,5 м: 1 – катаграфии, межформенный среднезернистый доломит;
b – скважина Христофоровская 5, глубина 912 м: 1 – Osagia aff recta, 2 – Osagia aff tenuilamellata, 3 – ангидрит,
4 – мелкозернистый доломит; c – скважина Ахинская 1Р, глубина 1663,8 м: 1 – Leiosphaeridia atava,
2 – ангидрит, 3 – мелкозернистый доломит; d – скважина Ахинская 1Р, глубина 1665,8 м:
1 – Lakhandinia af prolata (фото Т. А. Корниловой, поляризационный микроскоп Olympus BX41)

Fig. 7. Phytoliths in thin sections from the core of deep wells in the northwest of the Bozhekhansky swell:
a – Akhinskaya 1R well, the depth of 2548.5 m: 1 – catagraphies, interform medium-grained dolomite;
b – Khristoforovskaya 5 well, the depth of 912 m: 1 – Osagia aff recta, 2 – Osagia aff tenuilamellata, 3 – anhydrite,
4 – fine-grained dolomite; c – Akhinskaya 1R well, the depth of 1663.8 m: 1 – Leiosphaeridia atava,
2 – anhydrite, 3 – fine-grained dolomite; d – Akhinskaya 1R well, the depth of 1665.8 m:
1 – Lakhandinia af prolata (photos by T. A. Kornilova, Olympus BX41 polarizing microscope)

количество принадлежит синезеленым водорослям Renalcis. Много реликтовых представителей красных Epiphyton. Отмечены водоросли родов Chabakovia, Kordephyton, Korilophyton, трубчатые Proaulopora. Из микрофитолитов доминируют сетчатые группы Marcovella, сгустковые группы Nubercularites, менее распространены образования из группы Hieroglyphites [43]. Кроме того, отмечены Glebosites и Osagia.

Вероятно, что большое количество известьвыделяющих синезеленых водорослей и цианобактерий, таких как Oscillatoriopsis и др. [44], являлись «строителями» микрофитолитов, в том числе Glebosites и Osagia. Рассматриваемые органогенные доломиты похожи на реликтово-органогенные доломиты осинского горизонта Даниловской площади Непско-Ботуобинской антеклизы. Сходство литологического и биологического составов этих пород предполагает, что скважинами Ахинской группы, Тутурскими и Христофоровскими вскрыты изолированные участки обособленных биогермных зон в карбонатных постройках нижнего кембрия, аналогичные рифогенным структурам Непского свода.

Заключение

Органические биогермные постройки на Божеханском поднятии и сопредельных антиклинальных структурах в осадочном чехле следует считать геологическим аргументом сингенетичности ряда положительных структур Верхнеленского поднятия. Не исключено, что брахиформная складчатость, выявленная и описанная в 60-х годах XX века [24, 26 и др.], отражает в том числе локальные сингенетичные, то есть приподнятые в кембрии участки, которые позже многоэтапно деформировались в общем поле напряжений Байкало-Па-

томской складчатой области[12] [20, 21]. Тогда карбонатные постройки формировались над локальными поднятиями фундамента (Атовско-Шамановская), на гребнях сингенетичных складчатых форм (Божеханская, Христофоровская, Коркинско-Тутурская и другие). Жигаловский и Божеханский мегавалы – с верхнего (карбонатного) венда. В кембрии Божеханский мегавал играл роль большого барьерного рифа, разделявшего бассейны разной солености [5, 19–21]. Северо-западнее формировался замкнутый бассейн, в котором циклически шло отложение карбонатов и солей. В итоге в классическом осадочном процессе [3] в завершающих ангарском и литвинцевском циклах развития солеродного бассейна [33] в чарском – зеледеевском веках нижнего кембрия сформировались карбонатные платформы – Покровская, Атовско-Шамановская, (Коркинско-Тутурская), Христофоровская, Верхне-Хандинская, Шонская и другие.

Позднее, в силуре – девоне активизация шарьяжно-надвигового процесса привела к формированию в поле Ангаро-Ленского палеопрогиба линейной складчатости аллохтонного типа, относимой к Манзурскому сектору Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса[13] [47]. Природная неоднородность аллохтона в части увеличенного по толщине пакета карбонатных пластов на участках органогенных построек, несомненно, отразилась на последующей эволюции кембрийских толщ, а также на степени трещиноватости карбонатных пластов.

Итогом мезозойско-кайнозойской активизации юга Сибирской платформы стало формирование Верхнеленского сводового поднятия – крупнейшей положительной структуры в юго-восточной части Ангаро-Ленской ступени в зоне сочленения одноименной нефтегазоносной области и Предбайкало-Предпатомского краевого прогиба [15–18, 23]. Широкое развитие кембрийских карбонатных платформ, обрамляющих Илгинскую палеовпадину, обусловило развитие вторичных карбонатных коллекторов. Перспективы нефтегазоносности объектов карбонатного мегарезервуара нижнего кембрия Верхнеленского поднятия подтверждены промышленными притоками углеводородов на Атовской, Бильчирской, Христофоровской, Балыхтинской, Осинской, Радуйской, Тутурской, Рудовской, Ковыктинской площадях.

Важно отметить, что и сегодня, на новом уровне технологий геологической разведки природных резервуаров углеводородов, остаются допуски и эффекты масштабирования при переходе от точечных данных керна к интерпретации геологического строения межскважинного пространства. На основе исследования нижнекембрийских толщ и биогермных построек Божеханского поднятия, а также анализа опубликованных работ можно утверждать, что биогермы развивались по единому циклу [33]. Они аналогичны осинским, близки по архитектуре и зональности. В связи с этим их изучение в обнажениях позволяет нам провести аналогии и глубже понять геологию тех погребенных рифогенных объектов на севере региона в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы, поиски и разведка которых сегодня реализуются только на основе 3D сейсморазведочных работ, электроразведки и глубокого бурения[14] [9, 11, 48, 49]. В то же время тщательное и многостороннее исследование керна скважин дает возможность сопоставить литофациальные особенности формирования отдельных участков Божехана как долгоживущей барьерной рифовой гряды, протяженной линейной структуры юго-восточного фаса Верхнеленского поднятия. Это крайне важно для обоснования детальной геолого-генетической модели формирования таких объектов в нижнем кембрии Ангаро-Ленской нефтегазоносной области, закономерностей их локализации, ведь сегодня нефтегазоносность погребенных органогенных рифовых построек в пределах отдельных площадей и месторож-

[12] Мазукабзов А. М. Структура и геодинамика южной окраины Сибирского кратона: дисс. … д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.03. Иркутск, 2003. 403 с.
[13] Там же.
[14] Китаева И. А. Типы и генезис фильтрационно-емкостного пространства пород-коллекторов нижнекембрийских карбонатных отложений юго-западного склона Непско-Ботуобинской антеклизы: дисс. … канд. геол.-минерал. наук: 25.00.06. М., 2020. 179 с.

дений Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции доказана, ряд углеводородных месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы в органогенных постройках поставлен на баланс, здесь активно идет подготовка к вводу в эксплуатацию, а часть объектов уже разрабатывается.

Список источников

1. Обручев В. А. Геология Сибири: монография. В 3 т. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1935–1938. 1357 с.

2. Мельников Н. В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы: стратиграфия, история развития. Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 2018. 177 с.

3. Варламов А. И., Ефимов А. С., Конторович А. Э., Конторович В. А., Коровников И. В., Пегель Т. В. [и др.]. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы. В 2 т. Т. 1. Стратиграфия / ред. Ю. Я. Шабанов. Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2016. 497 с.

4. Дольник Т. А. Строматолиты и микрофитолиты в стратиграфии рифея и венда складчатого обрамления Сибирской платформы. Новосибирск: Гео, 2000. 317 с.

5. Жарков М. А., Чечель Э. И. Осадочные формации кембрия Ангаро-Ленского прогиба. В 3 ч. Ч. 1. Общая характеристика кембрийских отложений и карбонатная формация Ангаро-Ленского прогиба. Новосибирск: Наука, 1973. 238 с.

6. Королюк И. К. Сравнительная характеристика формаций рифея и кембрия Прибайкалья. М: Изд-во АН СССР, 1962. 129 с.

7. Станевич А. М., Корнилова Т. А., Мазукабзов А. М., Вахромеев А. Г. Корреляция и микрофоссилии венд-кембрийских отложений, вскрытых Чайкинской параметрической скважиной 279 // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2015. Т. 12. С. 124–135.

8. Мигурский А. В., Старосельцев В. С., Мельников Н. В., Рябкова Л. В., Соболев П. Н., Сурнин А. И. [и др.]. Опыт изучения Чайкинского поднятия – крупного объекта нефтепоисковых работ на Сибирской платформе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. № 4, С. 14–25.

9. Гайдук А. В., Альмендингер О. А. Условия формирования и критерии прогноза зон улучшенных коллекторских свойств древних венд-кембрийских резервуаров (на примере Даниловского лицензионного участка (Восточная Сибирь)) // Научно-технический вестник ОАО «НК “Роснефть”». 2013. № 1. С. 10–13.

10. Конторович А. Э., Варламов А. И., Ефимов А. С., Конторович В. А., Коровников И. В., Кринин В. А. [и др.]. Стратиграфическая схема кембрийских отложений юга Предъенисейской части Западной Сибири // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. № 3. С. 443–465. https://doi.org/10.15372/GiG2020206.

11. Кравченко А. А., Пашевин А. М., Лаврентьева А. Е. Перспективы нефтегазоносности рифовых отложений на юге Вилюйской синеклизы по геофизическим данным // Науки о Земле и недропользование. 2020. Т. 43. № 2. С. 209–219. https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-209-219.

12. Максимова Е. Н., Чертина К. Н. Циклическое строение осинского горизонта на примере одного из месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей: материалы IX Всерос. литологич. совещ. (с междунар. уч.). Казань, 2019. С. 271–272.

13. Сухов С. С. О роли фациально-седиментологических критериев в реконструкции кембрийских палеобассейнов востока Сибирской платформы // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге: труды III Всерос. науч.-практ. седиментологич. совещ. (г. Томск, 10–12 апреля 2017 г.). Томск: Изд-во ЦППС НД, 2017. С. 209–214.

14. Сухов С. С., Фомин А. М., Моисеев С. А. Палеогеография как инструмент реконструкции кембрийского рифообразования на востоке Северо-Тунгусской нефтегазоносной области: от истории исследований к перспективам // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т. 13. № 3. https://doi.org/10.17353/2070-5379/28_2018.

15. Вахромеев А. Г., Смирнов А. С., Мазукабзов А. М., Горлов И. В., Мисюркеева Н. В., Шутов Г. Я. [и др.]. Верхнеленское сводовое поднятие – главный объект подготовки ресурсной базы углеводородного сырья на юге Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2019. № 3. С. 38–56. https://doi.org/10.20403/2078-0575-2019-3-38-56.

16. Шутов Г. Я. Верхнеленское сводовое поднятие – новый перспективный объект для поисков залежей газа в Ангаро-Ленской НГО // Геология нефти и газа. 1987. № 1. С. 5–9.

17. Вахромеев А. Г., Сверкунов С. А., Иванишин В. М., Смирнов А. С., Горлов И. В. Биогермные постройки с кавернозно-связанным пустотным пространством и аномально высоким пластовым давлением флюидных систем в карбонатных природных резервуарах венда − кембрия на юге Сибирской платформы // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXVII Всерос. молодежн. конф. (г. Иркутск, 22–28 мая 2017 г.). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2017. С. 54–56.

18. Смирнов А. С., Вахромеев А. Г., Курчиков А. Р., Горлов И. В. Кокарев П. Н., Касьянов В. В. [и др.]. Выявление и картирование флюидонасыщенных анизотропных кавернозно-трещинных коллекторов Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2019. № 5. С. 4–12. https://doi.org/10.30713/2413-5011-2019-5(329)-4-12.

19. Королюк И. К**.** Особенности строения валов южной части Прибайкалья на примере Божеханского поднятия // Тектоника нефтегазоносных областей Сибири: сб. ст. М.: Наука, 1967. С. 60–70.

20. Замараев С. М. Краевые структуры южной части Сибирской платформы. М.: Наука, 1967. 248 с.

21. Замараев С. М., Адаменко О. М., Рязанов Г. В., Кульчитский А. А., Адаменко Р. С., Викентьева Н. М. Структура и история развития Предбайкальского предгорного прогиба. М.: Наука, 1976. 134 с.

22. Васильев В. Г., Иванова М. Н., Мордовский В. Т. О сочленении Восточно-Сибирской и Западно-Сибирской платформ в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности // Вопросы нефтегазоносности Сибири: сб. ст. М.: Гостоптехиздат, 1959. С. 69–75.

23. Жарков М. А., Замараев С. М. История тектонического развития юга Сибирской платформы // Вопросы сравнительной тектоники древних платформ: материалы совещ. по проблемам тектоники (г. Москва, 1–7 февраля 1963 г.). М.: Наука, 1964. С. 135–145.

24. Мазур В. Б. Строение восточной части Иркутского амфитеатра и особенности тектоники отложений ленского яруса // Геология и нефтегазоносность юга Восточной Сибири: сб. ст. М.: Недра, 1969. С. 148–154.

25. Труфанова Н. В., Кривощеков А. Л., Наумова Ю. А. Методика и результаты кинематической интерпретации по региональному профилю «Ковыктинское месторождение – Предпатомский прогиб» // Технологии сейсморазведки. 2007. № 3. С. 83–91.

26. Карасев И. П. Литолого-стратиграфическая и геохимическая характеристика пород южной части Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1959. С. 8–186.

27. Кононов А. И. Новые данные по тектонике юго-восточной части Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1959. С. 356–434.

28. Одинцов М. М., Павловский Е. В. История геологического изучения // Геология СССР. Т. XVII. Иркутская область. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1962. С. 9–15.

29. Притула Ю. А., Ефремов М. И., Базанов Э. А., Мандельбаум М. М., Савинский К. А., Карасев И. П. [и др.]. Результаты геологоразведочных работ на нефть и газ в Иркутской области и план региональных работ на 1965–1970 гг. // Геология и нефтегазоносность юга Сибирской платформы: сб. ст. Вып. 247. Л.: Гостоптехиздат, 1966. С. 151–159.

30. Адамов Е. А., Цобин В. А., Чечель Э. И. Некоторые черты геологического строения и развития Илгинской впадины в связи с перспективами калиеносности // Труды Института геологии и геофизики. Вып. 116. Новосибирск: Гео, 1970. С. 100–110.

31. Королюк И. К. Некоторые строматолиты кембрия Иркутского амфитеатра // Труды Института нефти. Вып. 7. Алма-Ата: Изд-во АН Казахской ССР, 1956. С. 51–59.

32. Королюк И. К. Сравнительная характеристика формаций рифея и кембрия Прибайкалья. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 129 с.

33. Британ И. В., Жарков М. А., Кавицкий М. Л., Колосов А. С., Машович Я. Г., Чечель Э. И. Строение и условия формирования кембрийских соленосных отложений на территории СССР // Проблемы соленакопления: сб. ст. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1977. С. 203–227.

34. Чечель Э. И., Машович Я. Г., Гилев Ю. Г. Закономерности строения соленосных отложений кембрия юга Сибирской платформы. М.: Недра, 1977. 144 с.

35. Калинкина Л. И., Шутов Г. Я. Рифогенные отложения среднемотской подсвиты Непского свода юга Сибирской платформы // Советская геология. 1981. № 1. С. 68–72.

36. Мышевский Н. В. Игнялинский барьерный риф – новый перспективный объект на Непском своде // Геология и геофизика. 1991. Т. 32. № 11. С. 99–107.

37. Багринцева К. И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М.: Изд-во РГГУ, 1999. 285 с.

38. Дольник Т. А., Воронцова Г. А. Биостратиграфия верхнего докембрия и нижних горизонтов кембрия Северо-Байкальского и Патомского нагорий (на основе изучения строматолитов и микрофитолитов). Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1974. 95 с.

39. Журавлева И. Т. Раннекембрийские орогенные постройки на территории Сибирской платформы // Организм и среда в геологическом прошлом: сб. ст. М.: Наука, 1966. С. 61–84.

40. Маслов В. П. О природе строматолита Conophyton // Проблемы палеонтологии. Т. 4. М.: Изд-во Палеонтологической лаборатории МГУ СССР, 1938. С. 325–332.

41. Маслов В. П. Принципы номенклатуры и систематики строматолитов // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1953. № 4. С. 105–112.

42. Маслов В. П. Строматолиты и фации // Доклады Академии наук СССР. 1959. Т. 125. № 5. С. 1085–1088.

43. Лучинина В. А. Палеоальгология при переходе от циано-бактериальной (строматолитовой) к водорослевой экосистеме на примере кембрийских отложений Сибирской платформы // Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: Изд-во ПИН РАН, 2011. С. 26–37.

44. Станевич А. М., Немеров В. К., Чатта Е. Н. Микрофоссилии протерозоя Саяно-Байкальской складчатой области: обстановки обитания, природа и классификация. Новосибирск: Гео, 2006. 200 с.

45. Терлеев А. А., Лучинина В. А., Сосновская О. В., Багмет Г. Н. Известковые водоросли и нижняя граница кембрия в западной части Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 4. С. 485–491.

46. Колосов П. Н. Позднедокембрийские микроорганизмы востока Сибирской платформы. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1984. 84 с.

47. Сметанин А. В. Опыт динамической интерпретации гравитационных аномалий. Иркутск, 2000. 85 с.

48. Губина Е. А., Тихонова К. А., Винокурова О. А., Лукьянов В. В., Волков В. Г., Неустроев К. А. [и др.]. Модель осинского продуктивного горизонта (пласт $Б_1$) на месторождениях Иркутской области // Нефтяное хозяйство. 2022. № 2. С. 46–51. https://doi.org/10.24887/0028-2448-2022-2-46-51.

49. Вахромеев А. Г. Корнилова Т. А., Мисюркеева Н. В., Степанова Н. И., Шемин Г. Г., Уренко Р. А. [и др.].

Божеханское поднятие Предбайкальского прогиба – краевая барьерно-рифовая система кембрийского соленосного бассейна юга Сибирской платформы // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): материалы науч. совещ. (г. Иркутск, 19–22 октября 2021 г.). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2021. Вып. 19. С. 24–26.

References

1. Obruchev V. A. *Geology of Siberia: monograph*. In 3 vol. Moscow – Leningrad: Academy of Sciences of the USSR; 1935–1938. 1357 p. (In Russ.).

2. Mel'nikov N. V. *Vendian-Cambrian saline basin of the Siberian platform: stratigraphy and development history*. Novosibirsk: Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources; 2018. 177 p. (In Russ.).

3. Varlamov A. I., Efimov A. S., Kontorovich A. E., Kontorovich V. A., Korovnikov I. V., Pegel' T. V., et al. *Stratigraphy of oil and gaz basins of Siberia. Cambrian of Siberian platform*. Vol. 1. *Stratigraphy.* Novosibirsk: Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2016. 497 p. (In Russ.).

4. Dol'nik T. A. *Stromatolites and microphytoliths in the stratigraphy of the Riphean and Vendian folded framing of the Siberian Platform*. Novosibirsk: Geo; 2000. 317 p. (In Russ.).

5. Zharkov M. A., Chechel' E. I. *Cambrian sedimentary formations of the Angara-Lena depression*. In 3 parts. Part 1. *General characteristics of the Cambrian deposits and the carbonate formation of the Angara-Lena depression*. Novosibirsk: Nauka; 1973. 238 p. (In Russ.).

6. Korolyuk I. K. *Comparative characteristics of the Riphean and Cambrian formations of the Baikal region*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR; 1962. 129 p. (In Russ.).

7. Stanevich A. M., Kornilova T. A., Mazukabzov A. M., Vahromeev A. G. Correlation and microfossils of Vend-Cambrian sediments from Chaika parametrical borehole 279. *Izvestiya irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o Zemle" = Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"*. 2015;12:124-135. (In Russ.).

8. Migursky A. V., Staroseltsev V. S., Melnikov N. V., Ryabkova L. V., Sobolev P. N., Surnin A. I., et al. Experience of the Chaikinskoye uplift study – the major object of petroleum exploration on the Siberian platform. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri = Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2010;4:14-25. (In Russ.).

9. Gaiduk A. V., Almendinger O. A. Formation conditions and criteria for prediction of areas of improved reservoir properties ancient Vendian-Cambrian reservoirs (for example, Danilovskiy license area (East Siberia)). *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO "NK 'Rosneft'"*. 2013; 1:10-13. (In Russ.).

10. Kontorovich A. E., Varlamov A. I., Efimov A. S., Kontorovich V. A., Korovnikov I. V., Krinin V. A., et al. Stratigraphic scheme of Cambrian deposits, south of the cis-Yenisei area of West Siberia. *Geologiya i geofizika*. 2021;62(3):443-465. https://doi.org/10.15372/GiG2020206.

11. Kravchenko A. A., Pashevin A. M., Lavrenteva A. E. Oil-and-gas potential of the reef deposits in the Vilyuy syneclise south. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(2):209-219. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-209-219.

12. Maksimova E. N., Chertina K. N. Cyclic structure of the Osinsky horizon on the example of a deposit of the Nepa-Botuoba anteclise. In: *Litologiya osadochnykh kompleksov Evrazii i shel'fovykh oblastei: materialy IX Vseros. litologich. soveshch. (s mezhdunar. uch.) = Lithology of sedimentary complexes of Eurasia and shelf regions: materials of the 9th All-Russian lithological meeting (with international participation)*. Kazan; 2019, p. 271–272. (In Russ.).

13. Sukhov S. S. On the role of facies-sedimentological criteria in reconstruction of Cambrian paleobasins in the east of the Siberian Platform. In: *Sovremennye problemy sedi-mentologii v neftegazovom inzhiniringe: trudy III Vseros. nauch.-prakt. sedimentologich. soveshch. = Modern problems of sedimentology in oil and gas engineering: proceedings of the 3d All-Russian scientific and practical sedimentological meeting.* 10–12 April 2017, Tomsk. Tomsk: Center for Training and Retraining of Oil and Gas Specialists; 2017, p. 209–214. (In Russ.).

14. Sukhov S. S., Fomin A. M., Moiseev S. A. Paleogeography as investigation tool of Cambrian reefs in the eastern part of the North-Tungusk petroleum area. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika.* 2018;13(3). (In Russ.). https://doi.org/10.17353/2070-5379/28_2018.

15. Vakhromeev A. G., Smirnov A. S., Mazukabzov A. M., Gorlov I. V., Misyurkeeva N. V., Shutov G. Ya., et al. The upper Lena arched uplift is the main object of preparing a resource base of hydrocarbons in the south of the Siberian platform. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri = Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2019;3:38-56. (In Russ.). https://doi.org/10.20403/2078-0575-2019-3-38-56.

16. Shutov G. Ya. The Upper Lena arched uplift as a new promising object for gas prospecting in the Angara-Lena oil and gas-bearing area. *Geologiya nefti i gaza*. 1987;1:5-9. (In Russ.).

17. Vakhromeev A. G., Sverkunov S. A., Ivanishin V. M., Smirnov A. S., Gorlov I. V. Bioherm structures with cavern-connected pore space and abnormally high formation pressure of fluid systems in Vendian-Cambrian natural carbonate reservoirs in the south of the Siberian Platform. In: *Stroenie litosfery i geodinamika: materialy XXVII Vseros. molodezhn. konf. = Lithospheric structure and geodynamics: materials of the 27th All-Russian youth conference*. 22–28 May 2017, Irkutsk. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2017, p. 54–56. (In Russ.).

18. Smirnov A. S., Vakhromeev A. G., Kurchikov A. R., Gorlov I. V., Kokarev P. N., Kasyanov V. V., et al. Identification and mapping of fluid-saturated anisotropic cavern-

cracked collectors of the Kovyktinsky gas-condensate deposit. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii = Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2019;5:4-12. (In Russ.). https://doi.org/10.30713/2413-5011-2019-5(329)-4-12.

19. Korolyuk I. K. Structural features of swells in the southern part of the Baikal region on the example of the Bozhekhan uplift. In: *Tektonika neftegazonosnykh oblastei Sibiri = Tectonics of the oil and gas regions of Siberia*. Moscow: Nauka; 1967, p. 60–70. (In Russ.).

20. Zamaraev S. M. *Marginal structures of the southern part of the Siberian platform*. Moscow: Nauka; 1967. 248 p. (In Russ.).

21. Zamaraev S. M., Adamenko O. M., Ryazanov G. V., Kul'chitskii A. A., Adamenko R. S., Vikent'eva N. M. *Structure and development history of the Cis-Baikal piedmont depression*. Moscow: Nauka; 1976. 134 p. (In Russ.).

22. Vasil'ev V. G., Ivanova M. N., Mordovskii V. T. On the inter-area of the East Siberian and West Siberian platforms in terms of oil and gas potential assessment. In: *Voprosy neftegazonosnosti Sibiri = Issues of oil and gas potential in Siberia*. Moscow: Gostoptekhizdat; 1959, p. 69–75. (In Russ.).

23. Zharkov M. A., Zamaraev S. M. The history of tectonic development of the south of the Siberian platform. In: *Voprosy sravnitel'noi tektoniki drevnikh platform: materialy soveshch. po problemam tektoniki = Issues of comparative tectonics of ancient platforms: proceedings of the conference on tectonic problems*.1–7 February 1963, Moscow. Moscow: Nauka; 1964, p. 135–145. (In Russ.).

24. Mazur V. B. Structure of the eastern part of the Irkutsk amphitheater and tectonic features of the deposits of the Lena stage. In: *Geologiya i neftegazonosnost' yuga Vostochnoi Sibiri = Geology and oil and gas potential of the south of Eastern Siberia*. Moscow: Nedra; 1969, p. 148–154. (In Russ.).

25. Trufanova N. V., Krivoshchekov A. L., Naumova Yu. A. Methodology and results of kinematic interpretation for the regional profile “Kovykta field – Predpatomsky trough”. *Tekhnologii seismorazvedki*. 2007;3:83-91. (In Russ.).

26. Karasev I. P. Lithological-stratigraphic and geochemical characteristics of the rocks in the south of the Siberian platform. In: *Geologiya i neftegazonosnost' Vostochnoi Sibiri = Geology and oil and gas potential of Eastern Siberia*. Moscow: Gostoptekhizdat; 1959, p. 8–186. (In Russ.).

27. Kononov A. I. New data on the tectonics of the southeastern part of the Siberian Platform. *Geologiya i neftegazonosnost' Vostochnoi Sibiri = Geology and oil and gas potential of Eastern Siberia*. Moscow: Gostoptekhizdat; 1959, p. 356–434. (In Russ.).

28. Odintsov M. M., Pavlovskii E. V. History of geological study. In: *Geologiya SSSR. T. XVII. Irkutskaya oblast'. Ch. 1. Geologicheskoe opisanie = USSR Geology. Vol. 17. Irkutsk region. Part 1. Geological description*. Moscow: Nedra; 1962, p. 9–15. (In Russ.).

29. Pritula Yu. A., Efremov M. I., Bazanov E. A., Mandel'baum M. M., Savinskii K. A., Karasev I. P., et al. Results of exploration works for oil and gas in the Irkutsk region and a plan of regional works for the period from 1965 to 1970. In: *Geologiya i neftegazonosnost' yuga Sibirskoi platform = Geology and oil and gas potential of the south of the Siberian platform*. Iss. 247. Leningrad: Gostoptekhizdat; 1966, p. 151–159. (In Russ.).

30. Adamov E. A., Tsobin V. A., Chechel' E. I. Some features of the geological structure and development of the Ilga depression in terms of potential potassium content. In: *Trudy Instituta geologii i geofiziki = Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics*. Iss. 116. Novosibirsk: Geo; 1970, p. 100–110. (In Russ.).

31. Korolyuk I. K. Some Cambrian stromatolites of the Irkutsk amphitheater. In: *Trudy Instituta nefti = Proceedings of the Institute of Oil*. Iss. 7. Alma-Ata: Academy of Sciences of the Kazakh SSR; 1956, p. 51–59. (In Russ.).

32. Korolyuk I. K. *Comparative characteristics of the Riphean and Cambrian formations of the Baikal region*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR; 1962. 129 p. (In Russ.).

33. Britan I. V., Zharkov M. A., Kavitskii M. L., Kolosov A. S., Mashovich Ya. G., Chechel' E. I. Structure and formation conditions of the Cambrian salt-bearing deposits on the territory of the USSR. In: *Problemy solenakopleniya = Problems of salt accumulation*. Vol. 2. Novosibirsk: Nauka; 1977, p. 203–227. (In Russ.).

34. Chechel' E. I., Mashovich Ya. G., Gilev Yu. G. *Structural regularities of Cambrian salt-bearing deposits in the south of the Siberian Platform*. Moscow: Nedra; 1977. 144 p. (In Russ.).

35. Kalinkina L. I., Shutov G. Ya. Reef deposits of the Middle Mot subformation of the Nepa arch in the south of the Siberian platform. *Sovetskaya geologiya*. 1981;1:68-72. (In Russ.).

36. Myshevskii N. V. The Ignyalinsky barrier reef as a new promising object on the Nepa arch. *Geologiya i geofizika*. 1991;32(11):99-107. (In Russ.).

37. Bagrintseva K. I. *Formation conditions and properties of oil and gas carbonate reservoirs*. Moscow: Russian State University for Geological Prospecting; 1999. 285 p. (In Russ.).

38. Dol'nik T. A., Vorontsova G. A. *Biostratigraphy of the upper Precambrian and lower Cambrian horizons of the North Baikal and Patom highlands (based on the study of stromatolites and microphytoliths)*. Irkutsk: Vost.-Sib. kn. izd-vo; 1974. 95 p. (In Russ.).

39. Zhuravleva I. T. Early Cambrian orogenic structures on the territory of the Siberian Platform. In: *Organizm i sreda v geologicheskom proshlom = Organism and environment in the geological past*. Moscow: Nauka; 1966, p. 61–84. (In Russ.).

40. Maslov V. P. On the Conophyton stromatolite nature. *Problemy paleontologii = Problems of Paleontology*. Vol. 4. Moscow: Paleontological Laboratory of the Moscow State University of the USSR; 1938, p. 325–332. (In Russ.).

41. Maslov V. P. Principles of stromatolite nomenclature and classification. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya geologicheskaya*. 1953;4:105-112. (In Russ.).

42. Maslov V. P. Stromatolites and facies. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1959;125(5):1085-1088. (In Russ.).

43. Luchinina V. A. Paleoalgology under transition

from cyanobacterial (stromatolitic) to algal ecosystem on the example of the Cambrian deposits of the Siberian Platform. In: *Rifogennye formatsii i rify v evolyutsii biosfery = Reef formations and reefs in biosphere evolution*. Moscow: Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences; 2011, p. 26–37. (In Russ.).

44. Stanevich A. M., Nemerov V. K., Chatta E. N. *Proterozoic microfossils of the Sayan-Baikal folded area: habitats, nature and classification*. Novosibirsk: Geo; 2006. 200 p. (In Russ.).

45. Tepleev A. A., Luchinina V. A., Cocnovckaya O. V., Bagmet G. N. Calcareous algae and the lower boundary of Cambrian in the western part of the Altai-Sayan folded region. *Geologiya i geofizika*. 2004;45(4):485-491. (In Russ.).

46. Kolosov P. N. *Late Precambrian microorganisms of the east of the Siberian platform*. Yakutsk: Yakut Branch of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences; 1984. 84 p. (In Russ.).

47. Smetanin A. V. *Experience of dynamic interpretation of gravitational anomalies*. Irkutsk; 2000. 85 p. (In Russ.).

48. Gubina E. A., Tikhonova K. A., Vinokurova O. A., Lukyanov V. V., Volkov V. G., Neustroev K. A., et al. Model of the Osinsky productive horizon (formation B_1) in the fields of the Irkutsk region. *Neftyanoe khozyaistvo*. 2022;2:46-51. (In Russ.). https://doi.org/10.24887/0028-2448-2022-2-46-51.

49. Vakhromeev A. G. Kornilova T. A., Misyurkeeva N. V., Stepanova N. I., Shemin G. G., Urenko R. A., et al. The Bozhekhan uplift of the Cis-Baikal depression as a marginal barrier-reef system of the Cambrian salt-bearing basin in the south of the Siberian Platform. In: *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): materialy nauch. soveshch. = Geodynamic evolution of the Central Asian mobile belt lithosphere (from ocean to continent): materials of the scientific meeting.* 19–22 October 2021, Irkutsk. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2021, iss. 19, p. 24–26. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors

Вахромеев Андрей Гелиевич,
доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий Лабораторией геологии нефти и газа,
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
доцент кафедры нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательсий технический университет,
г. Иркутск, Россия,
andrey_igp@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-0712-6568.
Andrey G. Vakhromeev,
Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),
Leading Researcher,
Head of the Oil and Gas Laboratory,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia,
Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
andrey_igp@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-0712-6568.

Корнилова Татьяна Александровна,
ведущий инженер Лаборатории геологии нефти и газа,
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
kornilova@crust.irk.ru.
Tatiana A. Kornilova,
Leading Engineer of the Oil and Gas Laboratory,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia,
kornilova@crust.irk.ru.

Мисюркеева Наталья Викторовна,
аспирант,
ведущий инженер Лаборатории геологии нефти и газа,
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
mnv@crust.irk.ru.
Natalia V. Misurkeeva,
Postgraduate Student,
Leading Engineer of the Oil and Gas Laboratory,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia,
mnv@crust.irk.ru.

Уренко Роман Сергеевич,
аспирант,
ведущий инженер Лаборатории геологии нефти и газа,
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
urenko240196@mail.ru.
Roman S. Urenko,
Postgraduate Student,
Leading Engineer of the Oil and Gas Laboratory,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia,
urenko240196@mail.ru.

Станевич Аркадий Михайлович,
доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник Лаборатории геологии нефти и газа,
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
stan@crust.irk.ru.
Arkadiy M. Stanevich,
Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),
Leading Researcher of the Oil and Gas Laboratory,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia,
stan@crust.irk.ru.

Степанова Наталья Ивановна,
кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий инженер Лаборатории геологии нефти и газа,
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
nistepanova2014@yandex.ru.
Natalia I. Stepanova,
Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),
Leading Engineer of the Oil and Gas Laboratory,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia,
nistepanova2014@yandex.ru.

Пуляевский Максим Сергеевич,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательсий технический университет,
г. Иркутск, Россия,
ведущий геолог управления
геологического сопровождения бурения скважин,
АО «Верхнечонскнефтегаз»,
г. Иркутск, Россия,
mspulyaevskiy@rosneft.ru.

Maksim S. Pulyaevskiy,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
Leading Geologist of the Department
of Geological Support of Well Drilling,
Verkhnechonskneftegaz JSC,
Irkutsk, Russia,
mspulyaevskiy@rosneft.ru.

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 09.06.2022; одобрена после рецензирования 06.07.2022; принята к публикации 12.08.2022.
The article was submitted 09.06.2022; approved after reviewing 06.07.2022; accepted for publication 12.08.2022.