

УДК 553.087 (571.56)
doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-2-45-53

СТРОЕНИЕ НИЖНЕОРДОВИКСКИХ СТРОМАТОЛИТОВЫХ БИОГЕРМОВ В ОПОРНОМ РАЗРЕЗЕ Р. МОЙЕРО (ТУНГУССКАЯ СИНЕКЛИЗА, ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)

Никита Андреевич Лыков¹✉, Илья Газинурович Закирьянов²,
Андрей Викторович Дронов³, Юлиана Валерьевна Ростовцева⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Геологический институт РАН, Москва, Россия; lykownikita@gmail.com✉, <https://orcid.org/0009-0009-6201-599X>

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия; Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварыцкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия; zakiryanovig@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5731-296X>

³ Геологический институт РАН, Москва, Россия; avdronov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0229-8598>

⁴ Геофизический центр РАН, Москва, Россия; rostovtseva@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6828-5629>

Аннотация. В нижнеордовикских породах разреза р. Мойеро (Тунгусская синеклиза, Восточная Сибирь) присутствуют строматолитовые биогермы, строение которых рассмотрено на примере выделяемой среди них типовой постройки и смежных с ней отложений. Выявлено, что формирование изучаемых осадков происходило при развитии как бактериальных сообществ (прежде всего, цианобактерий), так и известковых водорослей. Установлено наличие остатков известковых водорослей рода *Nuia* разной сохранности в биокластово-оолитовых и оолитово-биокластовых известняках, подстилающих строматолитовые постройки и слагающих межбиогермные отложения. Предполагается, что рост строматолитовых биогермов и смежных с ними отложений контролировался колебаниями уровня моря, нашедшими свое отражение в трансгрессивно-регрессивной цикличности и изменении условий седиментации.

Ключевые слова: нижний ордовик, Сибирская платформа, биогермы, строматолиты, *Nuia*

Для цитирования: Лыков Н.А., Закирьянов И.Г., Дронов А.В., Ростовцева Ю.В. Строение нижнеордовикских строматолитовых биогермов в опорном разрезе р. Мойеро (Тунгусская Синеклиза, Восточная Сибирь) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 2. С. 45–53.

LOWER ORDOVICIAN STROMATOLITES FROM THE KEY MOYERO SECTION (TUNGUSKA SYNECLISE, EASTERN SIBERIA)

Nikita A. Lykov¹✉, Ilya G. Zakiryanov², Andrey V. Dronov³, Yuliana V. Rostovtseva⁴

¹ Lomonosov Moscow State University; Geological Institute of the RAS, Moscow, Russia; lykownikita@gmail.com✉

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch SB RAS, Novosibirsk, Russia; The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the UB of the RAS, Yekaterinburg, Russia; zakiryanovig@gmail.com

³ Geological Institute of the RAS, Moscow, Russia; avdronov@gmail.com

⁴ Geophysical Center of the RAS, Moscow, Russia; rostovtseva@list.ru

Abstract. Stromatolite bioherms were found in the Lower Ordovician sediments of the Moyero River section (Tunguska syneclyse, Eastern Siberia). Their characteristics are considered on the example of their typical build-up and adjacent sediments. It was revealed that the formation of the studied sediments occurred during the development of both bacterial communities (primarily cyanobacteria) and calcareous algae. The presence of remains of calcareous algae *Nuia* of different preservation in bioclast-oolitic and oolite-bioclastic limestones underlying stromatolite and composing sediments between bioherms was established. It is assumed that the growth of stromatolite bioherms and adjacent sediments was controlled by sea level fluctuations which were reflected in the transgressive-regressive cyclicity and changes of sedimentation conditions.

Keywords: Lower Ordovician, Siberian platform, bioherms, stromatolites, *Nuia*

For citation: Lykov N.A., Zakiryanov I.G., Dronov A.V., Rostovtseva Yu.V. Lower Ordovician Stromatolites from the key Moyero section (Tunguska Syneclyse, Eastern Siberia). *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 2: 45–53. (In Russ.).

Введение. В настоящее время данных об условиях формирования органогенных построек ордовикского возраста в пределах Сибирской платформы недостаточно. Это объясняется разной степенью изученности рассматриваемых отложений, боль-

шая часть которых находится в труднодоступных районах и требует более детальных комплексных исследований.

Как известно, наиболее распространенными каркасостроителями в начале палеозоя являлись

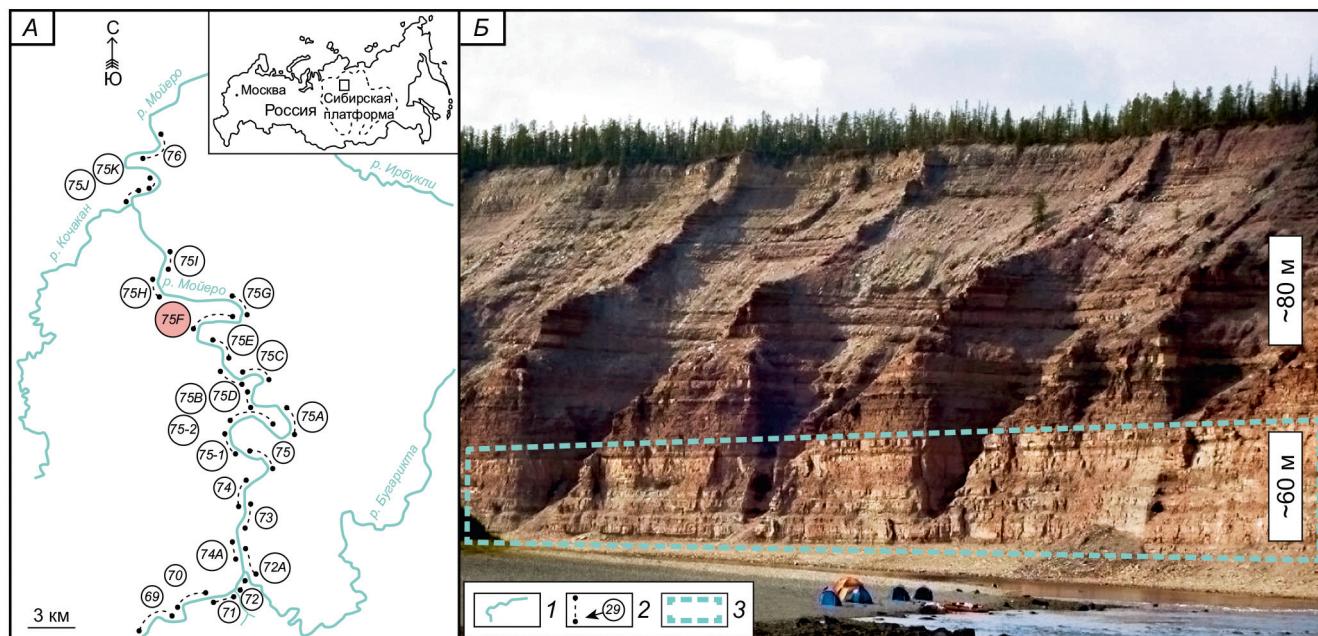


Рис. 1. Расположение района исследования (A) и общий вид (A) обнажения 75F нижнеордовикских отложений разреза р. Мойеро (Тунгусская синеклиза, Восточная Сибирь): 1 — русла рек, 2 — расположение и индексы обнажений, 3 — изучаемый интервал разреза

цианобактериальные сообщества, которые могли образовывать симбиоз с водорослями. Цианобактериальные сообщества как создатели строматолитовых построек имеют большое пордообразующее значение. В связи с этим изучение этого типа образований вызывает особый научный интерес.

Целью настоящей работы являлось выявление особенностей строения нижнеордовикских строматолитовых построек разреза р. Мойеро (Тунгусская синеклиза, Восточная Сибирь) для восстановления условий их формирования. Описание и исследование этих образований ранее не проводилось.

Краткая геологическая характеристика района исследования. В ордовикское время на территории Сибирской платформы располагалось несколько седиментационных бассейнов, крупнейшими из которых являлись Иркутский и Тунгусский бассейны, известные также как Иркутский амфитеатр и Тунгусская синеклиза [Каныгин и др., 2007; Dronov, 2013]. Сибирская платформа в раннем ордовике находилась в приэкваториальных широтах [Cocks, Torsvik, 2007]. В пределах Восточной Сибири мелководные отложения нижнего ордовика представлены тепловодными карбонатами: известняками и доломитами с обилием строматолитов и оолитовых разностей [Dronov, 2013]. Развитие подобного типа осадконакопления во многом обусловлено существовавшей в рассматриваемое время палеоклиматической зональностью [Cocks, Torsvik, 2007].

Опорный разрез ордовика по реке Мойеро располагается в северо-восточной (в современных координатах) части Тунгусской синеклизы Восточной Сибири, примыкающей к Анабарскому щиту. Этот нижнепалеозойский разрез является одним из наиболее полных и непрерывных на Сибирской

платформе [Мягкова и др., 1977; Каныгин и др., 2007; 2017]. Однако, во многом из-за труднодоступности района исследования, особенности строения отложений, слагающих этот разрез, остаются до сих пор недостаточно изученными, описание части обнажений вовсе не проводилось.

Отложения ордовика залегают в среднем течении р. Мойеро в виде очень пологой (2–3°) моноклиниали с общим падением на юг [Мягкова и др., 1977]. Эти толщи доступны для изучения в серии скальных выходов (обнажений), каждому из которых было присвоено собственное обозначение [Покровский и др., 2018]. На основании палеонтологических данных установлено, что в этом разрезе выделяются следующие региональные подразделения ордовика Сибирской платформы: няйский, угорский, кимайский, вихоревский, муктэйский, волгинский, киренско-кудринский, чертовский, баксанский и долборский горизонты, что соответствует тримадокскому — низам катийского ярусов Международной стратиграфической шкалы [Каныгин и др., 2007, 2017].

Объект и методика исследования. В ходе полевых исследований 2013 года, а также 2020–2022 гг. в ордовикских отложениях долины реки Мойеро были отмечены многочисленные и разнообразные карбонатные органогенные постройки. В нижнеордовикской (няйский и угорский горизонты) части разреза были обнаружены строматолитовые биогермы, которые ранее не были описаны и изучены.

Объектом настоящего исследования являются впервые найденные нижнеордовикские строматолитовые постройки разреза р. Мойеро в обнажении 75F (рис. 1). Данное обнажение является одним из наиболее представительных скальных выходов

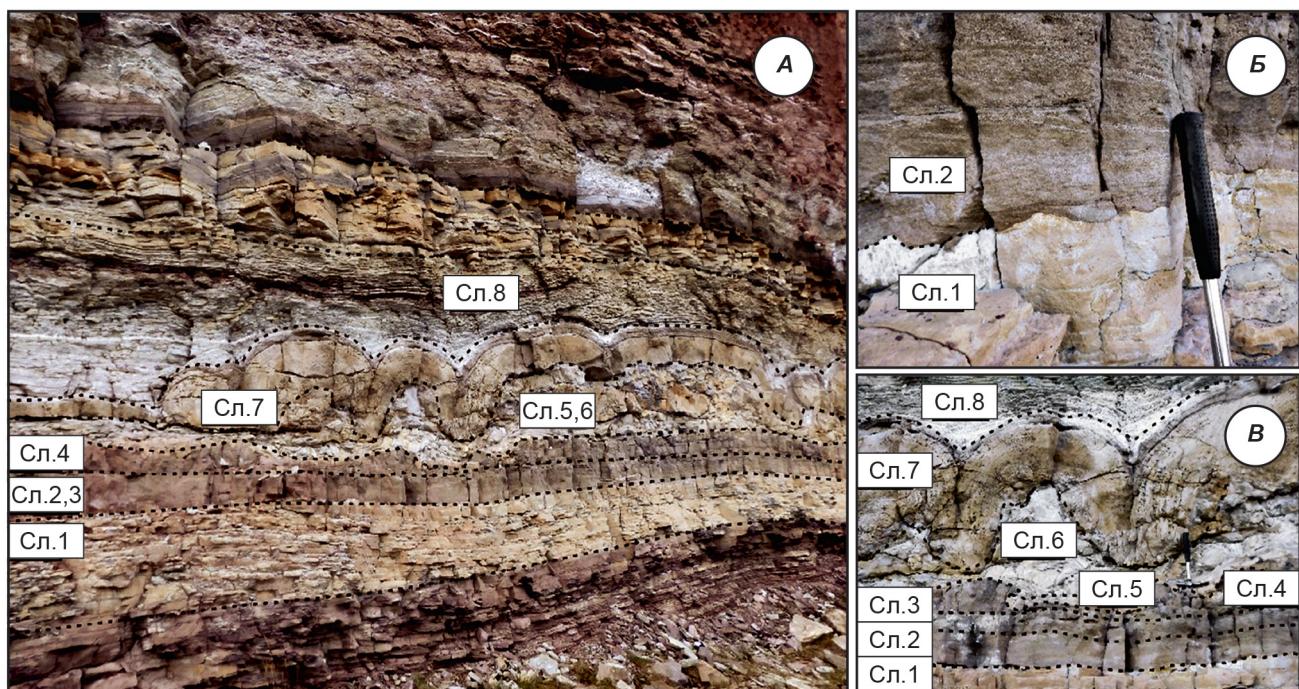


Рис. 2. Изучаемый интервал разреза с расположением описываемых слоев, выделяемых в строении типовой строматолитовой постройки и смежных с ней отложений. А — общий вид, Б — эрозионная граница между отложениями слоя 1 и слоя 2, В — часть разреза, в которой проведен отбор образцов

пород нижнего ордовика в береговых обрывах р. Мойера [Лыков, Ростовцева, 2022]. Координаты Обн. 75F (в средней части): North 67°, 37' 50,01"; East 104°, 07' 01,36".

В обнажении 75F выделяются 14 интервалов строматолитовых биогермных тел (полей), имеющих сходное строение. Рассматриваемые постройки встречаются как в виде одиночных мелких органогенных образований, так и в виде серии крупных биогермов, смыкающихся друг с другом. Высота биогермов в центральной части варьируют от ~0,19 см до ~6,5 м.

Для рассмотрения строения изучаемых строматолитовых биогермов среди них была выбрана типовая постройка, отличающаяся хорошей обнаженностью и характеризующая наибольшим разнообразием слагающих ее литологических типов пород. При изучении типовой постройки проводилось исследование как биогермного тела, так и смежных (вмещающих) с ним отложений для всесторонней реконструкции существовавших условий седиментации и смены их во времени.

Согласно [Королюк и др., 1975], биогермы относятся к органогенным постройкам выпуклой формы, а органогенные постройки — это обособленные карбонатные тела, созданные организмами-каркасостроителями, в сочетании с генетически связанными с ними карбонатными осадками. В ходе проведенного исследования пластовые строматолитовые образования не рассматривались из-за незначительного их развития в изучаемых отложениях.

Для определения структуры и компонентного состава пород были выполнены оптико-петрограф-

ические исследования специально послойно отобранных образцов из типовой строматолитовой постройки и смежных (вмещающих) с ней толщ. При литологической типизации карбонатных пород использовались как отечественная [Фролов, 1995], так и зарубежная классификация Р. Данхэма [Dunham, 1962], которая в последние годы получила широкое распространение в российских нефтяных компаниях.

Строение типовой строматолитовой постройки и смежных с ней отложений. В строении типовой строматолитовой постройки (рис. 2; 3; 4) и смежных с ней отложениях снизу вверх по разрезу наблюдается следующая смена литологических типов пород.

Слой 1. Доломит красноцветный и/или бежеватый, с микривыми (микробиальными?) интракластами и микривым заполнителем, содержащий обломочную песчаноалевритовую примесь, количество которой уменьшается от подошвы к кровле слоя (рудстоун с микривом) (рис. 5, А, обр. 21–14). Видимая мощность ~2 м.

Слой 2. Известняк светло-серый, оолитовый (с микривизацией оолитов), с обломочной мелко-песчаной примесью, единичными фосфатными биокластами, разнонаправленной косоволнистой слоистостью, эрозионной нижней границей, вторичной доломитизацией и спаритовым цементом (грейнстоун). Слой, выдержаный по мощности, хорошо прослеживается по простиранию (рис. 5, Б, обр. 22–17). Мощность — около 0,45 м.

Слой 3. Известняк серый, с неравномерным содержанием оолитов и биокластов, отвечающий биокластово-оолитовым или оолитово-биокласто-

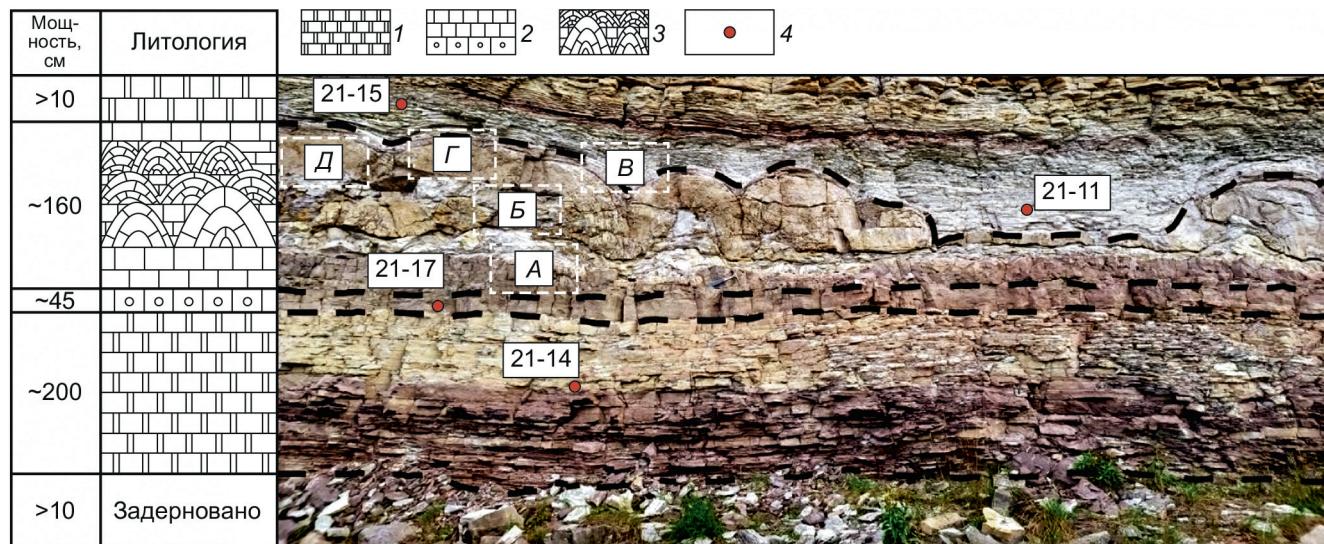


Рис. 3. Строение типовой строматолитовой постройки и смежных с ней отложений с выделением отдельных частей изучаемого интервала разреза (А, Б, Г и Д) и указанием места отбора образцов. 1 — доломиты с микробиальными интракластами (слой 1), 2 — известняки оолитовые (слой 2), 3 — центральная часть постройки (слои 4–7), 4 — места отбора и номера образцов

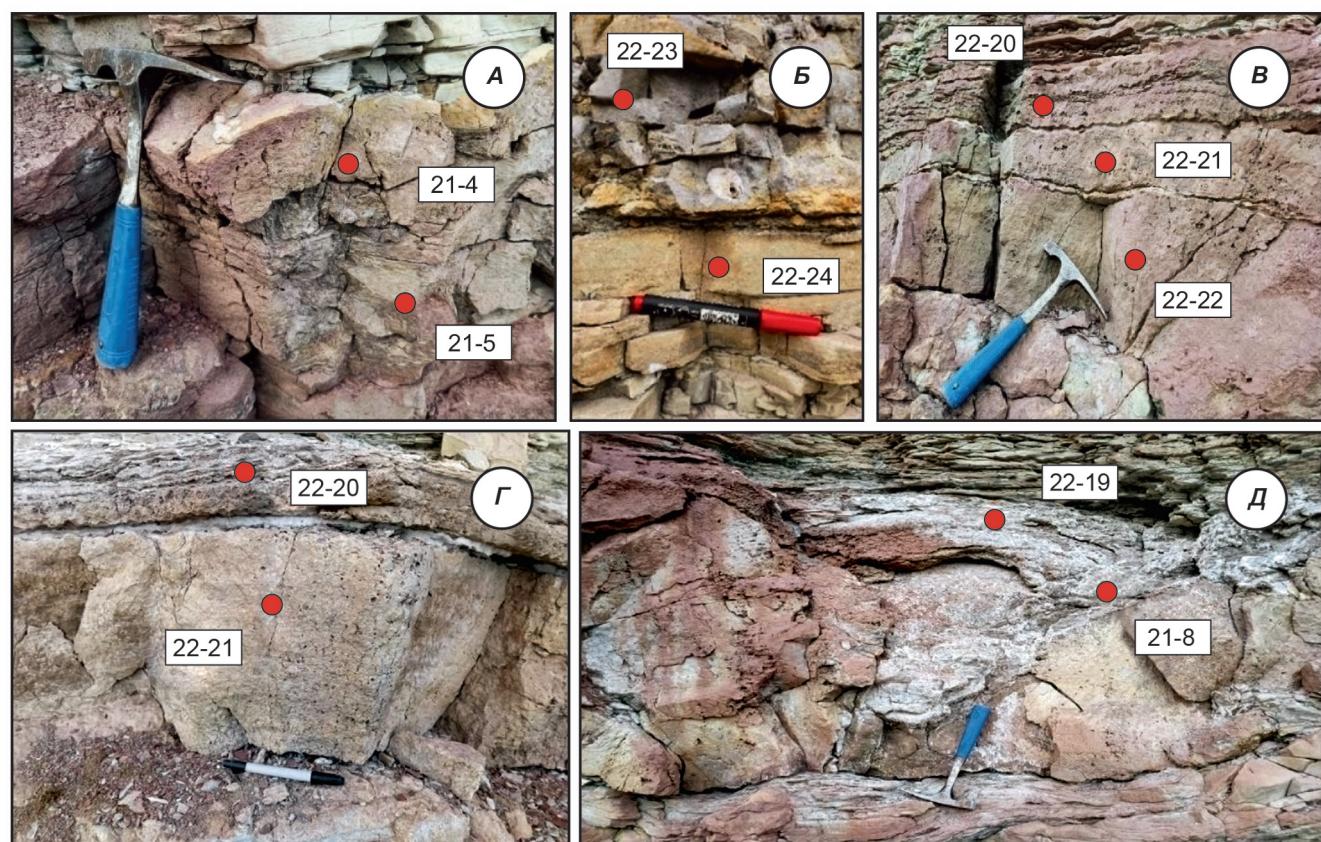


Рис.4. Строение отдельных частей строматолитовой постройки и смежных с ней отложений (А, Б, В, Г и Д), выделенных на рис. 2 с указанием места отбора и номера образцов

вым разностям, с оолитами обычно радиально-лучистой структурой, остатками известковых водорослей *Niua*, обломками раковин трилобитов, реже брахиопод, остракод, единичными зернами кварца, вторичной доломитизацией, крустикационным и поровым спаритовым цементом (грайнстоун). Слой, выдержаненный по мощности, хорошо про-

слеживается по простиранию (рис. 5, B, обр. 21–5). Мощность — 0,2 м.

Слой 4. Известняк серый, биогермный, тонко-зернистый, со строматолитовой слоистой структурой, подчеркнутой вторичной сульфатизацией, местами с доломитизацией, полого выпуклой (волнистой?) формой (баундстоун). Слой хорошо про-

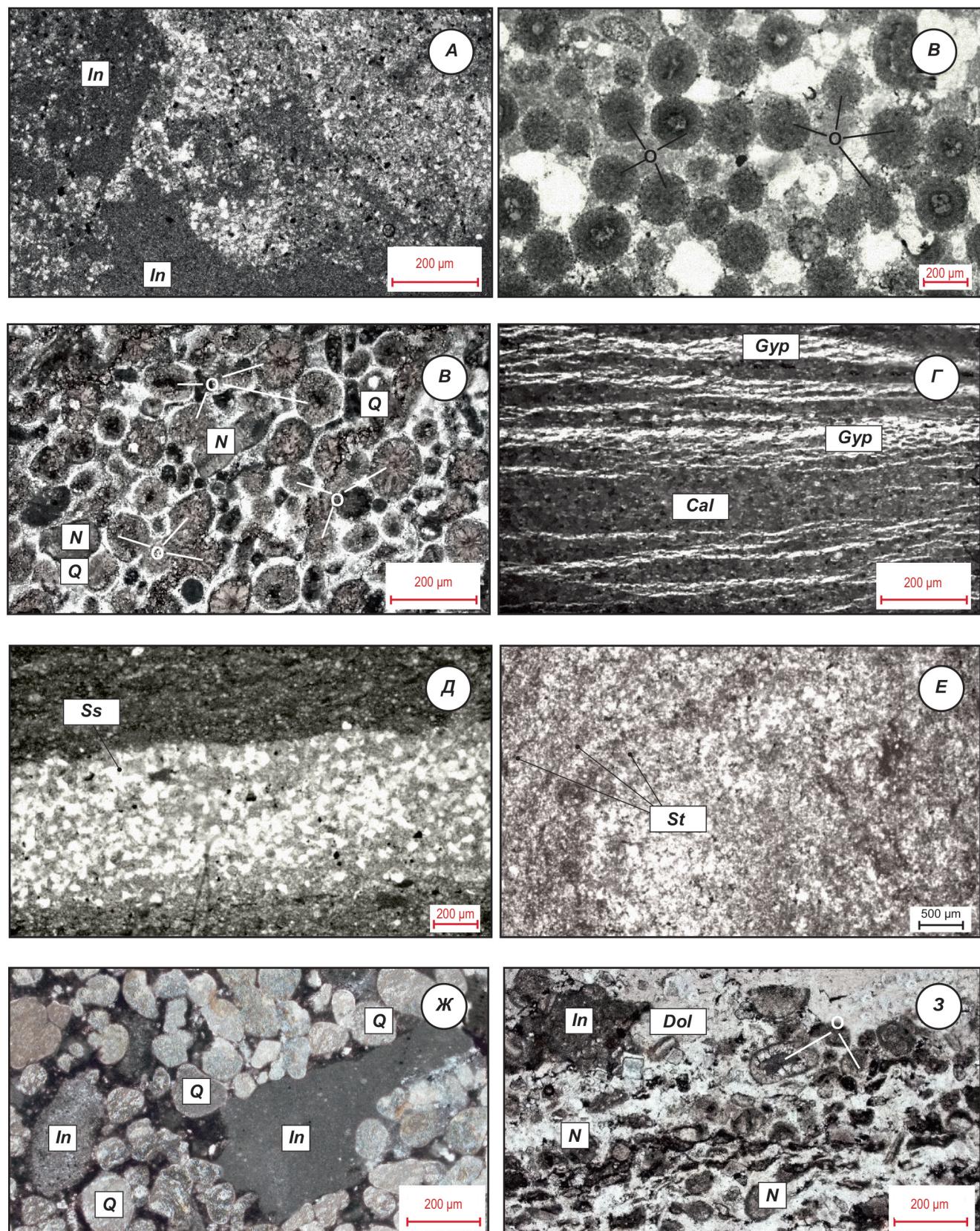


Рис. 5. Микрофотографии изучаемых пород. А — доломит с микробиальными интракластами с алевритовой примесью (слой 1, обр. 21–14); Б — известняк оолитовый (слой 2, обр. 21–17); В — известняк биокластово-оолитовый (слой 3, обр. 21–5); Г — известняк строматолитовый (слой 4, обр. 21–4); Д — доломит с прослоями тонкозернистого песчаного материала (слой 5, обр. 22–24); Е — известняк строматолитовый (слой 7, обр. 22–21), Ж — песчаник с микробиальными интракластами (слой 8, обр. 21–15); 3 — известняк оолитово-биоклассовый из межбиогермных отложений (обр. 21–11). In — интракласти, O — оолиты, Q — кварц, N — известковые водоросли *Nia*, Cal — кальцит, Gyp — гипс, Ss — песчаный материал, St — слоистая структура строматолитов, Dol — доломит. Николи параллельные

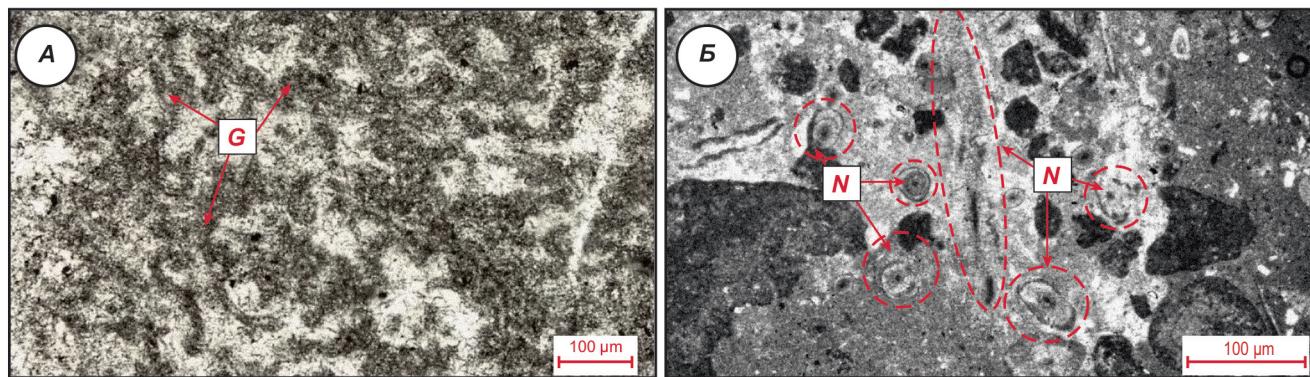


Рис. 6. Трубочки *Girvanella* (А), продольные и поперечные сечения известковых водорослей *Nuia sibirica* Maslov, 1954 (Б) в изучаемых отложениях. Николи параллельные

слеживается по простирианию (рис. 5, Г, обр. 21–4). Мощность — 0,25–0,3 м.

Слой 5. Доломит серый, тонкозернистый, с отдельными зернами алевритово-песчаной примеси, содержащий отдельные линзовидные прослои тонкозернистого песчаного материала (мадстоун). Слой, невыдержаный по мощности, хорошо прослеживается по простирианию (рис. 5, Д, обр. 22–24). Мощность — 0,2–0,3 м.

Слой 6. Доломит серо-голубоватый, в основной массе с яснокристаллическими выделениями вторичного доломита, содержащий обломки трилобитов, раковин моллюсков (местами встречаются и целые раковины, которые видны макроскопически) и брахиопод, с фосфатными биокластами, а также обломочной примесью крупноалевритовой и тонкопесчаной размерности (до 15–20%), содержание которой становится более высоким по сравнению с подстилающими отложениями (слоем 5) (первично, предположительно, вакстоун). Слой, невыдержаный по мощности, выклинивающийся по простирианию. Мощность — до 0,2–0,5 м.

Слой 7. Известняк бежевато-серый, биогермный, тонкозернистый, со слоистой строматолитовой структурой, частично вторично сульфатизированный, сфероидальной формой (баундстоун) (обр. 22–20, 22–21, 22–22, рис. 5, Е). Слой, невыдержаный по мощности, выклинивающийся по простирианию. Мощность — до 0,5–1,4 м.

Слой 8. Песчаник крупно-мелко-среднезернистый, с окатанными обломками преимущественно кварца размером от 0,1 до 0,75 мм, карбонатным тонкозернистым доломитизированным заполнителем, с включениями фрагментов микробиальных (строматолитовых?) известняков от 1 до 2,5 см (рис. 5, Ж, обр. 21–15). Видимая мощность около 1 м.

Выше по разрезу залегают доломиты визуально сходные по литологическому строению с аналогичными образованиями слоя 1.

В изучаемых отложениях доломиты, скорее всего, являются вторичными, на что указывает наличие яснокристаллических идиоморфных кристаллов доломита, местами развивающихся по карбонатным форменным компонентам, слагающим породы.

Обломочная примесь представлена в основном зернами кварца, реже полевых шпатов (плагиоклазами), а также чешуйками слюд и литокластами (кварцитами).

В верхних частях биогермовых известняков (слои 4 и 7), слагающих строматолитовые постройки, отмечается интенсивное развитие сульфатизации и/или доломитизации.

Биогермные известняки (слои 4 и 7) со строматолитовой структурой согласно классификации Б. Логана с соавторами [Logan, 1964] относятся, скорее всего, к переходному типу между LLH-C (латерально связанные полусфериоиды с близким расположением относительно друг друга) и LLH-S (латерально связанные полусфериоиды с разрозненным расположением относительно друг друга). Нижний слой (4) строматолитовых известняков в большей степени относится к LLH-C типу, верхний (7) — к LLH-S типу.

Отложения, залегающие в межбиогермном пространстве, представлены оолитово-биокластовыми известняками с развитием в межзерновом пространстве вторичных кристаллов гипса (рис. 5, З, обр. 21–11). В них встречаются мелкие фрагменты строматолитовых известняков.

В оолитово-биокластовых известняках изучаемой части разреза, местами отмечается наличие обломков, сложенных тонкозернистым карбонатом, в котором отчетливо видны признаки остатков *Girvanella* sp. (рис. 6, А, обр. 21–25). Однако слоевища этих микропроблематик имеют плохую сохранность, в связи с чем выполнить диагностику вида не представляется возможным.

Особенности распределения в отложениях известковых водорослей *Nuia* и их описание. В основании строматолитовых построек в рассматриваемом разрезе наблюдается смена оолитовых известняков биокластово-оолитовыми и оолитово-биокластовыми известковыми отложениями. Согласно [Vachard, 2017] и [Dai, 2022] с соавторами, формирование оолитов связано с действием биохимических процессов, протекающих при участии различных бактериальных сообществ, включая цианобактерии. В связи с этим можно предположить, что при накоплении оолитовых осадков в рас-

сматриваемой части бассейна уже существовали бактериальные сообщества, способствующие их образованию. Кроме того, накопление оолитовых отложений (грейнстоунов) должно было происходить, по общепринятым представлениям, в зоне с высокой подвижностью вод, в которой иловый материал не осаждался, а вымывался. В ходе проведенного исследования в этих отложениях остатки известковых водорослей *Nuia* не были обнаружены.

Биокластово-оолитовые и оолитово-биокластовые известняки, перекрывающие оолитовые известняки, кроме оолитов содержат биокласты и в меньшем количестве обломочную примесь в виде зерен кварца. В них среди органогенного материала встречаются остатки известковых водорослей (зеленых?) рода *Nuia* Maslov, 1954 как плохой, так и хорошей сохранности (рис. 6, Б, обр. 21–25). Хорошая сохранность остатков этих известковых водорослей позволила определить их вид как *Nuia sibirica* Maslov, 1954 и провести их монографическое описание. Это описание приводится для характеристики диагностических признаков, позволяющих определить род и вид остатков этих организмов.

Описание таксонов

Семейство *Microcodiaceae* Maslov, 1956

Род *Nuia* Maslov, 1954

Dasycladaceae incertae sedis: Зайцев и Покровская, 1950, с. 26, фиг. 20.

Типовой вид — *Nuia sibirica* Maslov, 1954. Ордовик, Восточная Сибирь (устыктурская свита), р. Нюя, Россия.

Диагноз. Известковые талломы субизометричной или слабоудлиненной формы в поперечном сечении, имеют многослойное строение. Центральная часть выполнена микритом, вследствие чего имеет темный цвет. «Стенка» сложена радиально-лучистыми или ботриодальными агрегатами кальцита. Могут встречаться редкие бифуркации.

Сравнение. От *Microcodium* Glück, 1912 семейства *Microcodiaceae* отличаются меньшим размером кристаллов в основном слое таллома, меньшим размером самих талломов и хорошо выраженной центральной частью.

Видовой состав и распространение. *Nuia sibirica* Maslov, 1954 — Восточная Сибирь [Маслов, 1954, 1960; Рейтлингер, 1959], Казахстан [Рейтлингер, 1959]; Прекордильеры Аргентины [Beresi and Luchinina, 2018]; Китай [Li et al., 2015] и др.

Замечание. Нет полной уверенности, к какому таксону уровня «Отдел» относить представителей рода *Nuia*, в связи с чем ее следует рассматривать как микропроблематичные известковые водоросли. Из-за этого также затруднительно определить таксоны уровней «Класс» и «Порядок». Подробно эта проблема рассмотрена в различных работах, например, [Vachard et al., 2017].

Nuia sibirica Maslov, 1954

Рис. 5, Б (обр. 21–25).

Nuia sibirica: Маслов, 1954, стр. 526, табл. I, фиг. 2.

Bogutschanophycus mariae: Кордэ, 1954, стр. 550, табл. VI, фиг. 1 и 3.

Nuia texana: Johnson, 1966, pp. 433, plate 57.

Nuia devonica: Шуйский, 1973, с. 95, табл. XXIX, фиг. 1–4.

Nuia (?) minuta: Шуйский, 1973, с. 96, табл. XXIX, фиг. 5.

Описание. Обызвествленная часть таллома в поперечном сечении имеет субизометричную форму, близкую к округлой, полой внутри. Внешняя микритовая стенка имеет небольшую толщину (менее 0,007 мм). Промежуточный (основной) слой сложен удлиненными (лучистыми или волокнистыми) кристаллами кальцита.

Размеры. Длина слоевища (в продольном сечении) — не более 0,3 мм (300 мкм). Диаметр 0,022–0,092 мм (22–92 мкм). Диаметр внутренней части не превышает 0,01 мм (10 мкм).

Замечания. Обнаруженные формы имеют значительно меньшие размеры, чем находки, указанные у других исследователей (например, [Шуйский, 1973]). Это может быть связано с изменчивостью видов и особенностями той экосистемы, в которой обитали изучаемые организмы.

Встречаются сильно перекристаллизованные формы, в связи с чем могут быть приняты за оолиты плохой сохранности.

Материал. Талломы продольного и поперечного сечения плохой (обр. 21–5 и 21–11) и хорошей (обр. 21–25) сохранности.

Условия формирования строматолитовой постройки. Отложения, выделяемые в слой 1, накапливались в условиях периодического перемыва тонкозернистых донных осадков при постепенной смене карбонатно-силикастического режима осадконакопления силикастико-карбонатным (уменьшение терригенной составляющей от подошвы к кровле слоя). Эти отложения по эрозионной границе сменяются оолитовыми известняками (слой 2), накопление которых происходило в среде с активной гидродинамикой, отражая начало наступления морской трансгрессии и повышения уровня вод. Выше по разрезу оолитовые осадки сменяются биокластово-оолитовыми и оолитово-биокластовыми накоплениями (слой 3), содержащими остатки известковых водорослей *Nuia*. Наличие последних, а также заметные содержания биокластов в этих отложениях свидетельствуют о развитии условий, благоприятных для существования целого ряда различных организмов. В дальнейшем ослабление гидродинамического режима, происходившего на фоне продолжающегося развития трансгрессии, обусловило формирование полого выпуклых строматолитовых построек (слой 4). Затем в более спокойных водах при максимуме наступления трансгрессии формировались илистые донные осадки с тонкими скоплениями песчаного материала (слои 5, 6), привносимого в эту мелководную часть бассейна, а также существовали об-

становки, способствующие обитанию трилобитов, моллюсков, брахиопод и др.

С началом развития регрессии связано образование сфероидальных строматолитовых биогермов, выделяемых в слой 7. Дальнейшее снижение уровня вод в рассматриваемой части бассейна привело сначала к опесчаниванию донных осадков (слой 8) и прекращению роста строматолитов, а затем накоплению илистых осадков в условиях ограниченной циркуляции вод (отложения, перекрывающие слой 8 визуально сходные со Слоем 1).

Установленная смена пород в строении типовой строматолитовой постройки и смежных с ней отложений позволяет выделить трансгрессивно-регрессивный цикл, определяющий особенности их формирования. Подобная цикличность прослеживается и в пределах других интервалов развития биогермов в рассматриваемой части разреза нижнеордовикских толщ, что свидетельствует о закономерном действии процессов осадконакопления. В обнажении 75F выявлено 14 подобных циклитов, формирование которых происходило во многом в сходных условиях [Лыков, Ростовцева 2022]. Аналогичного строения биогермные образования также известны в нижнеордовикских отложениях формации Рубиду (Roubidoux Formation), в южной части штата Миссури (США) [Overstreet et al., 2003]. Это свидетельствует о том, что обстановки осадконакопления в эпиконтинентальных морях в пределах континентов Сибири и Лаврентии, располагающихся на одних и тех же широтах в раннем ордовике, являлись во многом подобными в рассматриваемый период времени.

В рассматриваемых отложениях широко проявлены процессы вторичной доломитизации и сульфатизации. Наиболее интенсивное проявление сульфатизации отмечается в кровле описываемой органогенной постройки слоя 7. Развитие сульфатов в этой части строматолитов может быть обусловлено периодическим нахождением верхней части биогерма над поверхностью воды, что для мелководных обстановок, существовавших в условиях аридного климата, является вполне возможным.

Ранее было установлено [Лыков, Ростовцева, 2022], что часть разреза обнажения 75F, где широко развиты строматолитовые биогермы, накапливались в обстановках с разной подвижностью вод, отвечающих, скорее всего, переходной зоне от сублиторали до верхней части литорали. В этих условиях могли формироваться оолитовые, биокластово-оолито-

вые и оолитово-биокластовые отмытые осадки, а также строматолитовые биогермы с образованием обширных участков — полей. Развитие последних напрямую зависело от колебаний уровня моря, обуславливающих изменчивость подвижности вод, а также могло контролироваться привносом терригенного материала.

Выводы. В ходе проведенного исследования выявлено, что формирование типовой строматолитовой постройки сочеталось с развитием бактериальных сообществ и известковых водорослей *Niaia*. В оолитовых известняках, залегающих в основании строматолитовых биогермов, остатки *Niaia* не были обнаружены, а в перекрывающих их биокластово-оолитовых и оолитово-биокластовых известняках встречаются эти водоросли плохой и хорошей сохранности.

Учитывая возможное участие бактерий в формировании оолитов, образование которых в изучаемом разрезе происходило до и во время появления строматолитовых построек, предполагается широкое развитие микробиальных сообществ при накоплении этих биохемогенных отложений. Бактериальные сообщества при формировании оолитов сменялись бактериально-водорослевыми ассоциациями во время осаждения биокластово-оолитовых и оолитово-биокластовых осадков, которые предшествовали, а затем сопровождали рост строматолитовых построек, связанных с деятельностью цианобактерий.

Формирование строматолитов и смежных с ними отложений происходило при разной подвижности вод в переходной зоне от сублиторали до верхней части литорали, отражая трансгрессивно-регрессивную цикличность изменчивости обстановок седиментации. В раннем ордовике образование строматолитовых построек в пределах рассматриваемой части существовавшего палеобассейна могло происходить в условиях, сходных во многом с мелководными обстановками, существовавшими в это время в эпиконтинентальных морях континента Лаврентия.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Т.В. Гонте за помощь в сборе образцов в ходе полевых работ, В.А. Лучининой за консультации в области палеоальгологии.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-17-00198; в рамках государственного задания № 075-01349-23-00 Геофизического центра РАН, утвержденного Минобрнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Зайцев Н.С., Покровская Н.В. Стратиграфия и текстоника нижнепалеозойских отложений района среднего течения р. Лены // Акад. наук СССР. Ин-т геол. наук. М.; Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1950. 76 с.

Каныгин А.В., Ядренкина А.Г., Тимохин А.В. и др. Региональная стратиграфическая схема ордовикских

отложений Сибирской платформы (новая версия) // Геология и минеральносырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 5. С. 4–57.

Каныгин А.В., Ядренкина А.Г., Тимохин А.В. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Ордовик Сибирской платформы. Новосибирск: ГЕО, 2007. 267 с.

- Королюк И.К., Михайлова М.В., Равикович А.И. и др.* Ископаемые органогенные постройки, рифы, методы их изучения и нефтегазоносность. М.: Наука, 1975. 236 с.
- Кордэ К.Б.* Кембрийские водоросли из окрестностей села Бокучаны на реке Ангаре // Вопр. геол. Азии. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 531–555.
- Лыков Н.А., Ростовцева Ю.В.* Условия осадконакопления нижнеордовикских отложений разреза реки Мойеро (Восточная Сибирь). // Экзолит-2022. Литология осадочных комплексов фанерозоя и докембрия. Годичное собрание (научные чтения). Москва, 15–16 июня 2022 г.: Сборник материалов. С. 97–82.
- Маслов В.П.* О нижнем силуре Восточной Сибири // Вопросы геологии Азии. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 495–530.
- Маслов В.П.* Строматолиты. (Их генезис, метод изучения, связь с фациями и геологическое значение на примере ордовика Сибирской платформы). // Труды ГИН. 1960. Вып. 41. 188 с.
- Мягкова Е.И., Нестор Х.Э., Эйнасто Р.Э.* Разрез ордовика и силура реки Мойеро. Новосибирск: Наука, 1977. 176 с.
- Покровский Б.Г., Зайцев А.В. и др.* Геохимия изотопов С, O, S, Sr и хемостратиграфия отложений ордовика в разрезе р. Мойеро, север Сибирской платформы. Литология и полезные ископаемые. 2018. № 4. С. 310–336.
- Рейтлингер Е.А.* Атлас микроскопических органических остатков и проблематики древних толщ Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 62 с.
- Фролов В. Т.* Литология: Учеб. пособие / В. Т. Фролов. Кн. 3. М.: Изд-во МГУ, 1995. 352 с.
- Шуйский В.П.* Известковые рифообразующие водоросли девона Урала. М.: Наука, 1973. 156 с.
- Beresi M.S., Luchinina A.* Composition of Ordovician Algalflora of Argentine Precordillera and Its Significance for the Formation of Organic Structures // Stratigraphy and Geological Correlation. 2018. Vol. 26. № 1. P. 14.
- Cocks L.R.M., Torsvik T.H.* Siberia, the wondering northern terrane, and its changing geography through the Paleozoic // EarthScience Rev. 2007. Vol. 82. P. 29–74.
- Dunham R.J.* Classification of carbonate rocks according to depositional texture / Ed. by V. E. Ham // Classification of carbonate rocks: Simposium Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1962. Vol. 1. P. 108–121.
- Dai M.Y., Zhang H.S., Zheng W., et al.* Giant ooids of microbial origin from the Zhangxia Formation (Cambrian Miaolingian Series) in North China // Journal of Palaeogeography, 2022. Vol. 11, Issue 1. P. 52–68.
- Dronov A.* Late Ordovician cooling event: Evidence from the Siberian Craton // Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol. 2013. Vol. 389. № 1. P. 87–95.
- Johnson J.H.* The Late Cambrian Algal Genus *Nuia* from Brewster County, Texas // Journal of Paleontology. 1966. Vol. 40(2). P. 433–434.
- Logan B.W., Rezak R., Ginsburg R.N.* Classification and Environmental Significance of algal Stromatolites // The Journal of Geology. 1964. Vol. 72. № 1.
- Li Q., Li Y., Wang J., Kiessling W.* Early Ordovician lithistid sponge–Calathium reefs on the Yangtze Platform and their paleoceanographic implications // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2015. P. 84–96.
- Overstreet R.B., Oboh-Ikuenobe F.E., Gregg J.M.* Sequence Stratigraphy and depositional Facies of Lower Ordovician Cyclic Carbonate Rocks, Southern Missouri, U.S.A. // Journal of Sedimentary Research. 2003. P. 421–423.
- Vachard D., Clausen S., Palafox J.J., et al.* Lower Ordovician microfacies and microfossils from Cerro San Pedro (San Pedro de la Cueva, Sonora, Mexico), as a westernmost outcrop of the newly defined *Nuia* Province // Facies. 2017. Vol. 63, № 3. P. 37.

Статья поступила в редакцию 12.12.2023,
одобрена после рецензирования 19.12.2023,
принята к публикации 13.05.2024