

Биогенная природа и строение куполообразных микропостроек – калиптр в верхнеордовикских известняках центральной части Горного Алтая

И. Г. Закирьянов^{1,2}, Н. В. Сенников^{1,2}, В. А. Лучинина¹*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: ZakiryanovIG@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Впервые на материале из верхнеордовикского разреза «Азраткан» Ануйско-Чуйской структурно-фациальной зоны проведено изучение строения самых мелких органогенных построек - калиптр с применением петрографического и палеонтологического методов. Установлено, что в формировании калиптр принимают бактериально-цианобактериальные сообщества. В межкалиптровом пространстве определён и монографически описан вид *Hedstroemia halimedoidea* Rothpletz.

Ключевые слова: стратиграфия, петрография, органогенные постройки, бактерии, цианобактерии, известковые водоросли

Biogenic origin and structure of dome-shaped microstructures – calyptras in the Upper Ordovician limestones from the central part of the Gorny Altai

I. G. Zakiryanov^{1,2}, N. V. Sennikov^{1,2}, V. A. Luchinina¹*

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: ZakiryanovIG @ipgg.sbras.ru

Abstract. Calyptras are the smallest biogenic structures were found from the Upper Ordovician "Azratkan" Section in the Anui-Chuya structural facies zone. The petrographic and paleontological methods were applied to study calyptra's internal structure and the host rock. It was found that bacterial-cyanobacterial associations took part in the calyptras development. The species *Hedstroemia halimedoidea* Rothpletz was identified in the space between calyptras and described.

Keywords: stratigraphy, petrography, biogenic structures, bacteria, cyanobacteria, calcareous algae

Изучение древних рифовых построек всегда находилось в центре внимания геологов всего мира в связи с приуроченностью к ним многих месторождений полезных ископаемых [1-3]. Мощности построек и их протяженность варьировали в широких пределах, начиная с первых сантиметров и заканчивая десятками и сотнями километров в виде одиночных рифов до рифовых массивов, вплоть до карбонатных платформ [4-7]. Но по сравнению с существующей обширной литературой по современным и ископаемым рифам и рифовым сооружениям публикации по мелкоразмерным постройкам были относительно немногочисленны.

В ходе полевых работ 2016 г. на разрезе «Азраткан» (Ануйско-Чуйская структурно-фациальная зона Горного Алтая) в верхнеордовикских породах были обнаружены небольшие (около 6,5 см в длину, 4,5 см в ширину и 3 см в высоту) куполообразные образования (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** 1), которые имеют отчётливую внешнюю серую оболочку, сложенную разнокристаллическим – от скрытокристаллического до мелкокристаллического кальцитом и преимущественно бежевую, очень неоднородную внутреннюю часть. Эти структуры были определены как калиптры [6, 8]. Калиптры встречаются как поодиночке, так и в массовых скоплениях (рис. 2). В последнем случае они группируются, не соприкасаясь и не накладываясь друг на друга. Явление изолированности отдельных калиптр друг от друга в их группировках ранее было зафиксировано на раннекембрийских материалах Тывы [9].

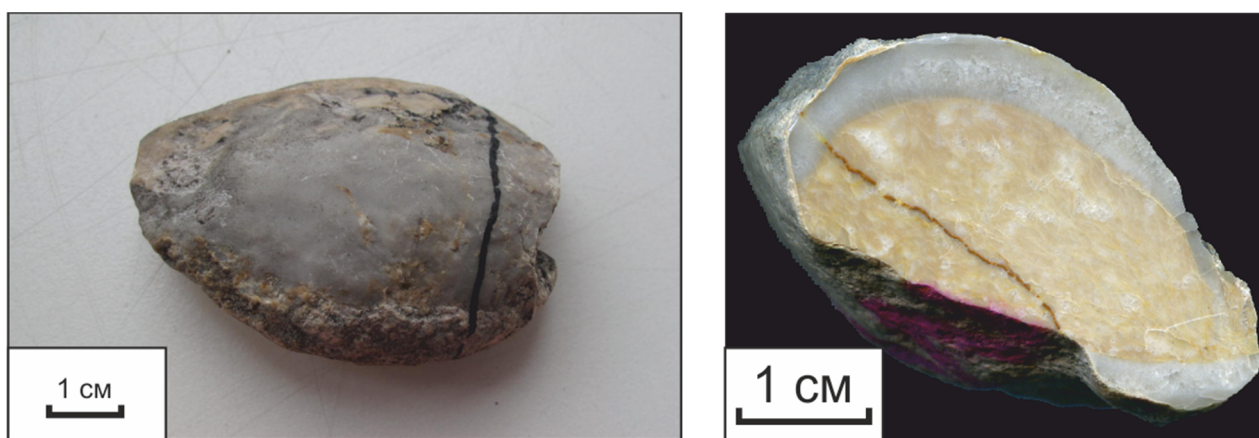


Рис. 1. Внешний вид одиночной калиптры и её поперечное сечение

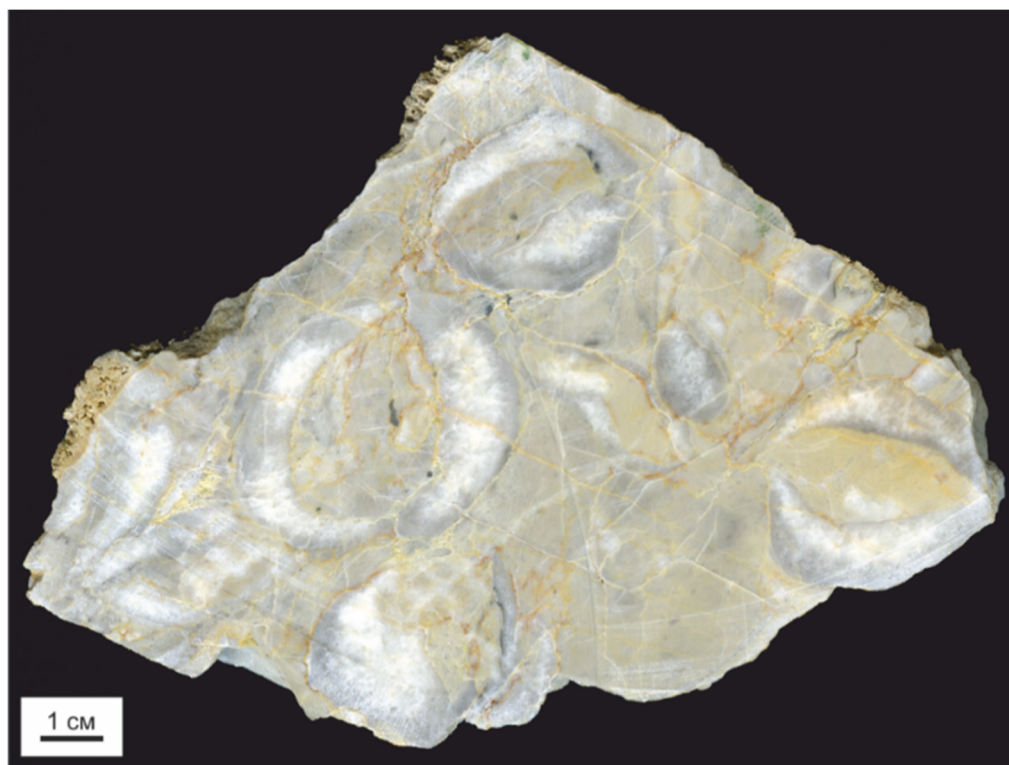


Рис. 2. Массовые скопления калиптр

Настоящая работа посвящена детальному литологическому изучению карбонатных пород алтайского верхнеордовикского разреза «Азраткан» и монографическому описанию водорослей, обнаруженных во вмещающих калиптры породах.

Термин «калиптры» впервые был предложен В.А. Лучининой для именования обособленных мелких (до 0,5 м) шарообразных тел, формировавших биостромы Оймуранского раннекембрийского (атдабан-ботомское время) органо-генного карбонатного комплекса Сибирской платформы [10]. Далее, более определенное место в иерархии органогенных построек для калиптр было предложено при описании строения сложно построенного, длительно существовавшего, раннекембрийского (атдабан-ботомское время) Баянкольского органо-генного карбонатного комплекса Тывы [9, 11]. Термин «калиптры» был использован для обозначения элементарных, обособленных, куполообразных органо-генных микропостроек в строении разномасштабных биогермно-биостромных массивов юга Сибири [9]. Что касается ордовика, то калиптры были установлены в позднеордовикской Андеркенской биогермной гряде Казахстана [12]. При этом было показано их широкое распространение в строении более крупных биогермов. Термин «калиптры» стал активно употребляться различными специалистами, изучающими органо-генные сооружения, развивавшиеся в других регионах как на более древних докембрийских - например, протерозой Забайкалья и Арктической Канады [13, 14], - так и на более молодых палеозойских стратиграфических уровнях [15, 16]. В настоящее время термин «калиптры» широко применяется как российскими, так и зарубежными специалистами [14, 16].

Оптико-петрографические исследования образцов показали, что бежевая основная масса имеет текстуру «ореп-спрасе» с характерной фенестровой структурой (рис. 3). Для неё характерно наличие слоистости, образованной за счёт ориентированного расположения существовавших некогда пустот, оказавшихся заполненными крупнокристаллическим спаритовым кальцитом [17]. Эти участки расположены в микритовом матриксе.

В шлифах ориентировка фенестр не наблюдается, однако прослеживается неотчётливая слоеватость в поперечном разрезе образца (см. рис. 1). Эту особенность фенестровой структуры также отмечала Антошкина А. И. с соавторами при изучении позднедевонских известняков из разрезов Тимано-Североуральского региона [18].

Внешняя, серая в образце, оболочка калиптр в шлифах идентифицируется как разнокристаллическая: размер кристаллов увеличивается по направлению от микритового матрикса (см. рис. 3). Кроме того, в этих спаритовых участках обнаруживается кремниевая составляющая (рис. 4), общая доля которой в породе крайне мала (не более 1 % от площади шлифа).

Изучение шлифов показало, что основной составляющей калиптр являлись бактериально-цианобактериальные сообщества, в то время как известковые водоросли существовали между калиптрами, а после отмирания фоссилизировались, скрепляясь микритом и образуя фенестровую структуру (рис. 5). Известко-

вые водоросли определены нами как *Hedstroemia halimedoidea* Rothpletz, 1913 [19], род которых известен с позднего венда (?) до каменноугольного времени. Следует отметить, что формы этого рода, за счет образования ими кустистых талломов (тела водорослей), являлись каркасостроителями в раннепалеозойских рифах [20, 21].

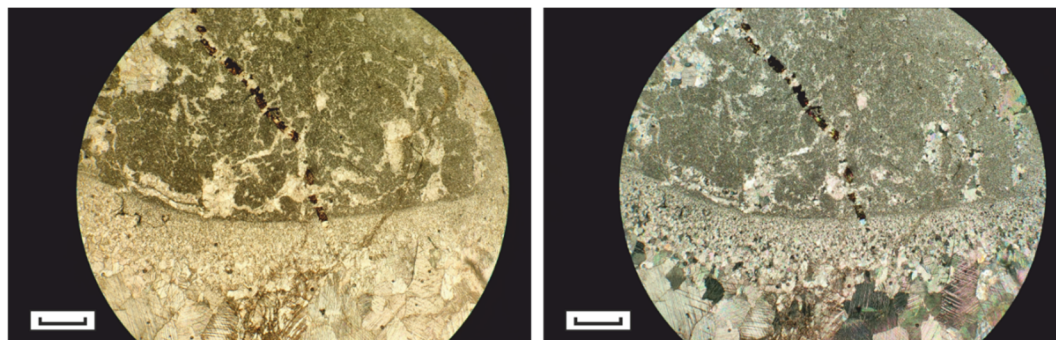


Рис. 3. Фотографии внутреннего строения калиптры

В верхней части – фрагмент фенестровой структуры. В нижней части – фрагмент внешней оболочки калиптры. Слева – николи параллельны, справа – николи скрещены. Длина линейки 1 мм.

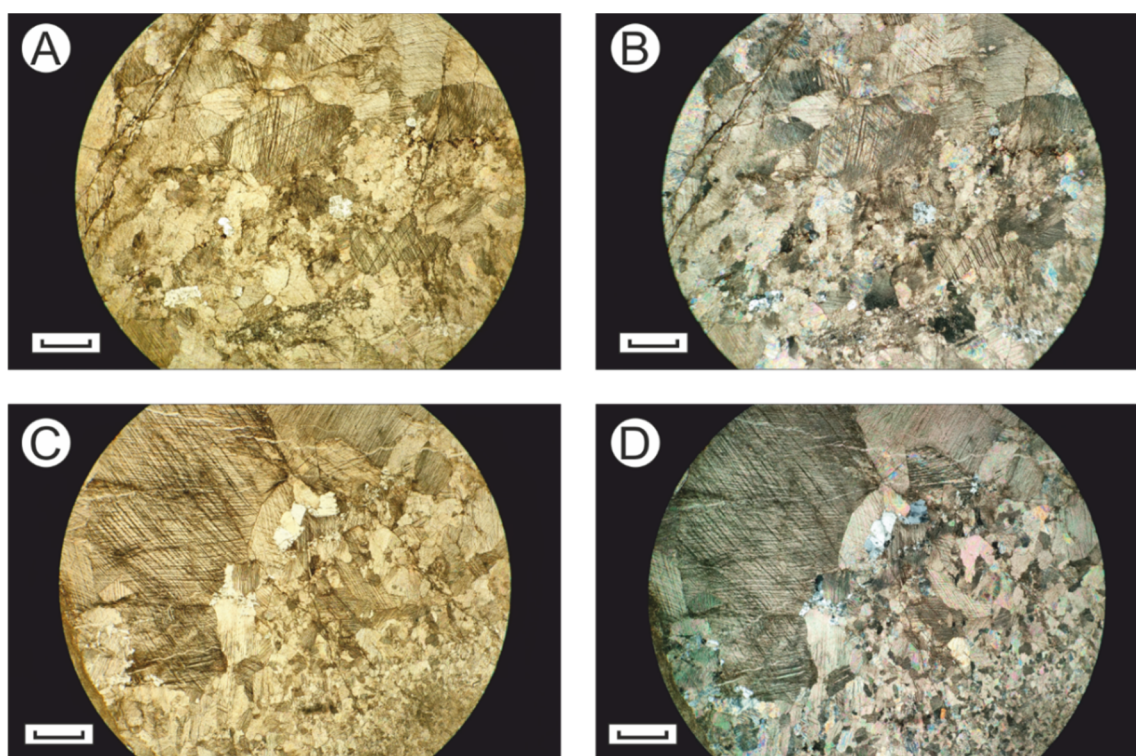


Рис. 4. Аутигенный кремнезём в спаритовом кальците

Слева – николи параллельны, справа – николи скрещены. Длина линейки 1 мм.

В образцах с массовыми скоплениями калиптр при микроскопическом изучении матрикса были обнаружены биокласты, скрепленные микритом, и извест-

ковые водоросли в прижизненном положении (см. рис. 5). Последние отнесены к виду *Hedstroemia halimedoidea* Rothpletz, 1913 [19], имеющему распространение с позднего венда (?) до каменноугольного времени.

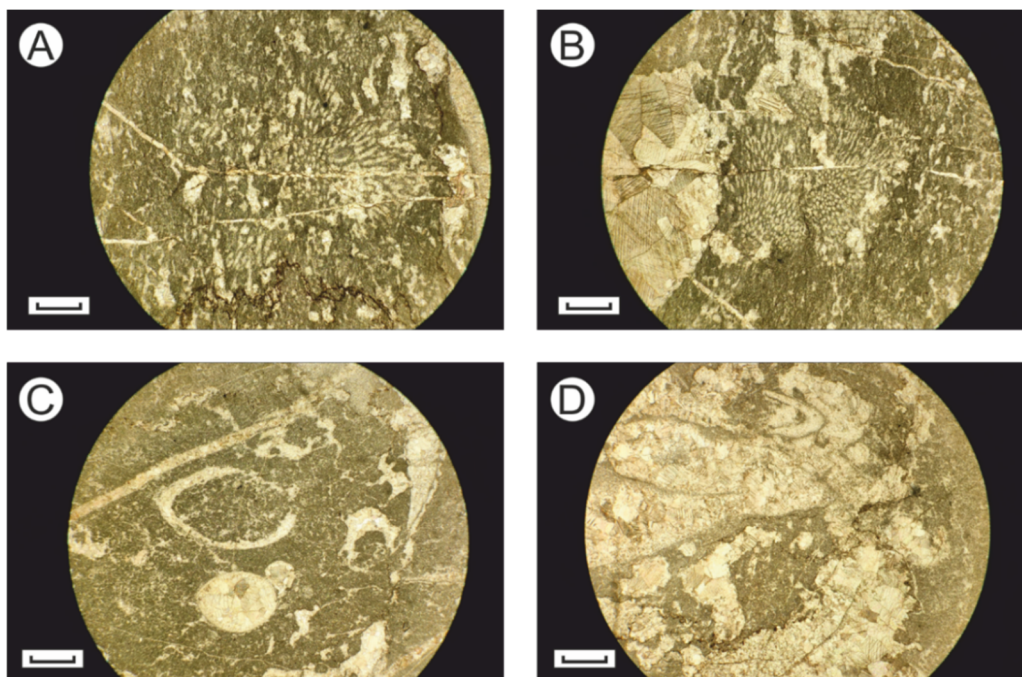


Рис. 5. Органогенные остатки.

А, В – *Hedstroemia halimedoidea* Rothpletz, 1913; С, D – фрагменты раковин остракод и перекристаллизованные остатки. Никולי параллельны. Длина линейки 1 мм.

Ниже приведено монографическое описание найденных водорослей.

Род *Hedstroemia* Rothpletz, 1913.

Типовой вид – *Hedstroemia halimedoidea* Rothpletz, 1913 [19]; силур, венлок; о-в Готланд, Швеция.

Диагноз. Известковые микрофоссилии, состоящие из более или менее радиально расположенных, плотно упакованных трубок, дихотомически разветвленных под небольшим углом, которые расширяются по мере удаления от центральной части.

Сравнение. Из-за ветвящихся форм род *Hedstroemia* похож на такие рода, как *Cayeuxia* Frollo, 1938 [22], *Bija* Vologdin 1932 [23], *Ortonella* Garwood, 1914 [24] и *Garwoodia* Wood 1941 [25], но отличается от них рядом других признаков. От родовых таксонов *Cayeuxia* и *Ortonella* рассматриваемый род отличается меньшей толщиной клеток, слагающих нити; от рода *Bija* – более незакономерным расположением нитей; от рода *Garwoodia* – хорошо выраженным гипоталлием.

Распространение. Поздний венд (?) – каменноугольная эпоха.

Описание – слоевище известковое, субизометричной до слабо удлинённой формы, состоящее из трубчатых нитей; нити расположены плотно, разветвля-

ются в радиальном направлении. Диаметр слоевища 3-4 мм; толщина клеток нити 49-75 мкм. Нити дихотомически ветвятся под углом ~10°.

Сравнение – от вида *Hedstroemia bifilosa* Rothpletz, 1913 [19] рассматриваемый вид отличается строением клеток в продольном сечении (у *H. halimedoidea* они менее грубой, более правильной формы), а также строением слоевища (у *H. halimedoidea* оно более правильное, субизометричное, с меньшим расстоянием между клетками округлой формы в поперечном сечении). От вида *Hedstroemia aequalis* Ноег, определённого в верхнем ордовике Урала [26], описываемый таксон *H. halimedoidea* отличается меньшим радиусом разветвления, меньшим количеством ветвей и большим расстоянием между ними.

Материал – 2 слоевища, шлифы образцов С-16-24, катийский ярус, верхний ордовик, разрез «Азраткан», Ануйско-Чуйская СФЗ, Горный Алтай.

Породы, вмещающие калиптры, разбиты многочисленными разнонаправленными трещинами, выполненными кальцитом или буровато-коричневой смесью органического и глинистого материала. Возможно, развитие трещиноватости способствовало проникновению кремнезёма в межкристаллические пустоты оболочек. В таком случае, привнос терригенного материала при формировании калиптр отсутствовал. Происходило только карбонатакопление, что, вероятно, является необходимым условием для калиптрообразования.

Формирование фенестровой структуры можно объяснить следующим образом. Микритовая масса образовывалась при выделении слизи бактериально-цианобактериальными сообществами. По мере их отмирания и разложении органического вещества выделялись газы, движение которых формировало пустоты, впоследствии заполняющиеся крупнокристаллическим кальцитом.

Причины образования внешних оболочек (см. рис. 3) вокруг отдельных участков калиптр на данный момент до конца не выяснены. Вероятно, колонии цианобактерий, активно осаждающие карбонаты, образовывали карбонатную корку по краям внешней оболочки калиптр. Эти выводы не только дополняют и подтверждают ранее высказанные соображения [6, 8], но и поднимают новые вопросы по выяснению условий формирования органогенных построек различного масштаба в целом и калиптр в частности.

Присутствие в породе водорослевых остатков и фенестровой структуры свидетельствует о том, что формирование пород происходило в верхней части сублиторали на её границе с приливно-отливной зоной, в бассейне с нормальной солёностью. Причиной того, что развитие бактериально-цианобактериальных калиптр не приводило к формированию крупных органогенных структур (биогермов), являются небольшие глубины бассейна.

Работа выполнена в рамках госзадания РАН по Фундаментальным научным исследованиям (проект FW ZZ-2022-0003 «Закономерности глобальных и региональных эволюционных изменений палеозойских осадочных бассейнов Сибири и Арктической зоны России в различных геодинамических и климатических обстановках; состав населявших их пелагических и бентосных палеобиот; палеогеографическое распространение фаунистических комплексов в разнофациальных отложениях; региональные стратиграфические схемы»).

Авторы благодарят своих коллег О. Т. Обут, Р. А. Хабибулину за содействие при полевых исследованиях, а также И. В. Вараксину за консультации по вопросам литологии. Коллекция описанных водорослей хранится в ЦКП "Геохрон" при Институте нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН в г. Новосибирск под номером 2109.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Равикович А. И. Современные и ископаемые рифы. М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 170 с.
2. Журавлева И. Т., Равикович А. И. Морфология и эволюция органогенных построек // Среда и жизнь в геологическом прошлом. Поздний докембрий и палеозой Сибири. Новосибирск: Наука, 1973. – С. 48-53.
3. Уилсон Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории. М: Недра, 1980. – 463 с.
4. Сенников Н. В. Позднеордовикский и раннесилурийский этапы развития рифовых построек в Алтайском бассейне. Материалы конференции «Биота как фактор геоморфологии и геохимии: рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: Изд-во ПИН, 2010. – С. 74-78.
5. Сенников Н. В., Обут О. Т., Изох Н. Г., Киприянова Т. П., Лыкова Е. В., Толмачева Т. Ю., Хабибулина Р. А. Региональная стратиграфическая схема ордовикских отложений западной части Алтае-Саянской складчатой области (новая версия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. – № 7с. – С. 15-53.
6. Sennikov N. V., Obut O. T., Lykova E. V., Timokhin A. V., Gonta T. V., Khabibulina R. A., Shcherbanenko T. A., Kipriyanova T. P. Ordovician sedimentary basins and paleobiotas of the Gornyy Altai. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2019. – 183 p.
7. Сенников Н. В., Хабибулина Р. А., Лучинина В. А., Обут О. Т., Токарев Д. А., Лыкова Е. В., Щербаненко Т. А., Печериченко Д. А. Алтайские верхнеордовикско-нижнесилурийские рифовые комплексы - терминология и классификация // Теоретические и прикладные аспекты палеонтологии: материалы LXVII сессии Палеонтологического общества при РАН – СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2021. – С. 74-76.
8. Сенников Н. В., Лучинина В. А., Обут О. Т., Токарев Д. А., Хабибулина Р. А. Позднеордовикские «кораллово-микробиально-водорослевые луга» в северо-западной части Горного Алтая // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: сб. материалов в 4 т. Т 2, № 1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – С. 150-154.
9. Задорожная Н. М. Раннекембрийские органогенные постройки восточной части Алтае-Саянской складчатой области. Среда и жизнь в геологическом прошлом (палеоэкологические проблемы). Новосибирск: Наука, 1974. – С. 159-186.
10. Лучинина В. А. Экология водорослей и микроструктура водорослевых биостромов нижнего кембрия среднего течения р. Лены. Среда и жизнь в геологическом прошлом (поздний докембрий и палеозой). Новосибирск: Наука, 1973. – С. 69-71.
11. Задорожная Н. М., Осадчая Д. В., Журавлева И. Т., Лучинина В. А. Раннекембрийские органогенные постройки на территории Тувы (Саяно-Алтайская складчатая область). Среда и жизнь в геологическом прошлом (поздний докембрий и палеозой). Новосибирск: Наука, 1973. – С. 53-65.
12. Никитин И. Ф., Гниловская М. Б., Журавлёва И. Т., Лучинина В. А., Мягкова Е. И. Андеркенская биогермная гряда и история её образования. Среда и жизнь в геологическом прошлом (палеоэкологические проблемы). Новосибирск: Наука, 1974. – С. 122-159.
13. Синица С. М., Вильмова Е. С. Постройки органогенных карбонатов докембрия и фанерозоя Забайкалья // Вестник ЗабГУ. – 2013. – № 2. – С. 49-55.

14. Narbonne G. M., James N. P., Rainbird R. H., Morin J. Early Neoproterozoic (Tonian) patch reef complexes, Victoria Island, Arctic Canada. In: Carbonate sedimentation and diagenesis in the evolving Precambrian world. SEPM Special Publication 67. 2000. – P. 163-178.
15. Рифогенные постройки в палеозое России. М.: Наука, 1997. – 160 с.
16. Zhang Y., Wang J., Munnecke A., and Li Y. Ramp morphology controlling the facies differentiation of a Late Ordovician reef complex at Bachu, Tarim Block, NW China // *Lethaia*. –2015. – 48(4). – P. 509–521.
17. Flügel E. Microfacies of carbonate rocks: Analysis, interpretation and application. 2nd ed, Dordrecht London New York: Springer-Heidelberg. 2010. – 984 p.
18. Антошкина А. И., Пономаренко Е. С., Канева Н. А. Фенестровые известняки - специфика позднедевонских морей, Тимано-Североуральский регион // *Литология и полез. Ископаемые*. – 2014. – № 6. – С. 493-505.
19. Rothpletz A. Die Kalkalgen, Spongiostromen und einige andere Fossilien aus dem Obersilur Gottlands // *Sveriges Geologiska Undersökning, Serie Ca*. 1913. – Vol. 10. – 57 p.
20. Brooke C., Riding R. Ordovician and Silurian coralline red algae // *Lethaia*. – 1998. – Vol. 31. – P. 185-195.
21. Лучинина В. А., Терлеев А. А. Особенности состава дендролитов в нижнекембрийских органогенных постройках Сибирской платформы // *Новости палеонтологии и стратиграфии*. Вып. 6-7. Приложение к журналу Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45. – С. 43-57.
22. Frollo M. M. Sur un nouveau genre de Codiacee du Jurassique superieur des Carpates Orientales // *Bull. geol, Soc. Fr. ser. 5, 8*. 1938. – P. 269-71.
23. Vologdin A. G. Archaeocyaths of Siberia, part 2. Cambrian fauna of Altai limestones. State Sci Tech Geol. Publ, Leningrad, 1932. – 106 p.
24. Garwood E. J. Some new rock building organisms from the Lower Carboniferous Beds of Westmorland. *Geological Magazine*, 5, 1914. – P. 265-271.
25. Wood A. The Lower Carboniferous calcareous algae *Mitcheldeania* Wethered and *Garwoodia* gen. nov. *Proceedings of the Geologists' Association*, 52, 1941. – P. 216-226.
26. Chuvashov B. J., Shuysky V. P., Ivanova R. M. Stratigraphical and facies complexes of the Paleozoic calcareous algae of the Urals. *Studies on the Benthic Algae* // *Bull. Soc. Paleont. Ital. Spec. Vol. 1*. - Modena. 1993. – P. 93-119.
27. Guilbault, J. P. & Mamet, B. L. Ordovician codiaceae from the St Lawrence Lowlands. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13. 1976. – P. 636–660.
28. Mamet, B. & Shalaby, H. Algues benthiques ordoviciennes de la plateforme du Saint-Laurent // *Revue de Micropaleontologie*. 1995. – Vol. 38(3). – P. 229–244.
29. Lijing Liu, Yasheng Wu, Haijun Yang & Robert Riding. Ordovician calcified cyanobacteria and associated microfossils from the Tarim Basin, Northwest China: systematics and significance // *Journal of Systematic Palaeontology*. –2016. – Vol. 14:3. – P. 183-210.

© И. Г. Закирьянов, Н. В. Сенников, В. А. Лучинина, 2022