

УДК 552.5

СПЕЦИФИЧНЫЕ МИКРОАГРЕГАТЫ И ПРОБЛЕМАТИЧНЫЕ МИКРОФОССИЛИИ – СПУТНИКИ БИОХЕМОГЕННЫХ ПОРОД

© 2014 Л.В. Леонова¹, Т.В. Литвинова², С.П. Главатских¹

¹*Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург*
lvleonova@yandex.ru; stepan_glav@uralweb.ru

²*Геологический институт РАН, litvinova-geo@rambler.ru*

В микробиальных экосистемах в результате высокой скорости фоссилизации образуются псевдоморфозы по оболочкам как целостных, так и разрушенных клеток. Последние могут приниматься исследователями за хемотропные образования коллоидных соединений, в частности, водного диоксида кремния. В данной работе акцентируется внимание на микрообразованиях, принадлежность которых к минерализованным биопленкам или фрагментам ископаемых бактериальных чехлов доказана в процессе изучения методами электронной микроскопии, энерго-дисперсионной спектроскопии. Обращается внимание на некоторые минеральные микроагрегаты специфического облика, встречающиеся в исследуемых авторами образцах, строматолитах и обособлениях, биоминеральное происхождение которых удалось установить.

Ключевые слова: микрофоссилии ископаемых прокариот, минерализованные биопленки и фрагменты оболочек, нетипичные микрокристаллы биоминералов.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение некоторых осадочных и гидротермально-осадочных пород с использованием метода электронной микроскопии выявило стабильное присутствие в них сингенетичных микроагрегатов неясного генезиса, отличающихся по морфологии от своих хемотропных аналогов. Обычно эти частицы сопутствуют литологическим объектам, происхождение которых тесно связано с жизнедеятельностью микроорганизмов, в частности,

бактериальным литифицированным постройкам (Леонова и др., 2011а) или строматолитам (Литвинова, 2009), причем в последних они встречаются гораздо чаще, чем микрофоссилии прокариот. Находки минерализованных остатков ископаемых бактерий хорошей степени сохранности имеют существенную научную значимость. С их помощью можно оценить роль биогенного фактора в формировании породы и даже некоторых рудных и нерудных полезных ископаемых и уточнить скорость литификации осадка. Сопоставление их с современными аналогами позволяет изучать не только процессы становления микромира, но и внести существенный вклад в теорию эволюции биосферы в целом (Заварзин, 2003; Проблемы..., 1993), так как характер седиментации в палеобассейнах во многом зависел от количества в нем микроорганизмов и их жизнедеятельности (Розанов, 2003).

Наряду с бесспорными биогенными микрочастицами, в осадочных отложениях в этих же условиях могут fossilizироваться и сохраняться фрагменты частично разрушенных оболочек или пленок колоний. Встречая подобные образования в процессе изучения осадочных пород, многие исследователи оставляют их без внимания как неинформативные или принимают за специфичные хемогенные минеральные агрегаты. Таким образом, роль микробиоты как активного создателя пород оказывается заниженной. Поэтому в данной работе мы акцентируем внимание на некоторых минеральных агрегатах необычного облика, биоминеральное происхождение которых нам удалось установить, а также на микрофоссилиях – фрагментах ископаемых бактериально-водорослевых образований.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты изучения включают пластовые, желваковые и столбчатые неветвящиеся строматолиты из карбонатных толщ нижнего рифея и лепешковидные, сплюснуто-шарообразные и шаровидные обособления верхнепермского (P_2kz_2) и среднедевонского (D_2ef-gv) возрастов. Строматолиты различных таксонов отобраны в нижнерифейских отложениях котуйканской свиты Северного Прианбарья, в районе безымянного притока р. Фомич, где прослеживается трехкилометровый карбонатный риф мощностью около 250 м (Литвинова, 2009). Коллекции лепешковидных и шарообразных обособлений выявлены в обнажениях верхнепермских гипс-доломитовых пород правого берега реки Волги (Республика Татарстан, от п. Красновидово до п. Сюкеевский Взвоз), где они представлены доломитом, кремнисто-доломитовым и кремнистым материалом (Леонова и др., 2011а). Морфологически идентичные обособления были найдены также в среднедевонских (D_2ef) яшмовых отложениях Южного Урала (п.п. Файзулино, Кусимовский Рудник), они состоят преимущественно из вернадита, литиофорита и кварца. В перекрывающих яшмовые толщи среднедевонских пес-

чаникоподобных породах с кварцевым цементом собраны образцы обособлений (п.п. Файзулино, Хасаново, Аскарново), также сложенные кварцем, вернадитом и литиофоритом (Леонова и др., 2011б).

Независимые исследования объектов проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа TesScan MV 2300, оснащенного энерго-дисперсионным спектрометром (ЭДС) Inca 200, напыление осуществлялось золотом (ГИН РАН, Москва), а также с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV, JEOL, ЭДС – IncaEnergy 450 с углеродным напылением проб (ИГГ УрО РАН, Екатеринбург). Для детального изучения морфологии микроагрегатов и проведения микроаналитических измерений использовались свежие сколы образцов, ориентированные спилы, специально подготовленные для работы с помощью сканирующего микроскопа полированные и прозрачные шлифы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

ВЫВОДЫ

В биогенных породах разного возраста и неодинакового минерального состава достаточно часто встречаются покровные формы со сморщенной поверхностью (табл. I, фиг. 1, 2). Такие объекты нередко относят к хемогенным образованиям водного диоксида кремния, предполагая, что их структура возникла в результате обезвоживания агрегатов в процессе литификации осадка. Однако благодаря использованию метода электронной микроскопии удалось решить вопрос в пользу биогенного происхождения таких микрообъектов. На микрофотографии пробы из вернадит-литофорит-кварцевого обособления (Южный Урал, п. Кусимовский Рудник) представлена разрушенная оболочка одной из клеток цепочки ископаемых цианобактерий (табл. I, фиг. 3, 4), сохранившаяся благодаря быстрому замещению гликокаликса диоксидом кремния (таблица 1).

Следует отметить, что слоистость строматолитов, фиксируемая как в разрезе, так и с помощью электронного микроскопа, обусловлена чередованием однообразного пелитоморфного минерального слоя с органогенным, сложенным повторяющимися агрегатами схожего облик (Литвинова, 20090). Анализ элементарного состава позволяет разделить морфологически сходные, но различные по генезису объекты, а также уточнить состав вмещающей их породы и выявить акцессорные минералы. Так, широко распространенные в биогенных породах различного возраста частицы с морщинистой (шагреновой) или гладкой поверхностью (табл. I, фиг. 5, 6, 7) приурочены в строматолитах к органогенному слою, что говорит в пользу их биогенного происхождения. С помощью метода энерго-дисперсионной спектроскопии при напылении проб золотом был установлен их химический состав. Эти образования характеризуются повышенным содержанием углерода, обязательным присутствием кремнезема, а также Na, K, Cl – обычных спутников

Таблица 1. Полуколичественный анализ элементного состава (ЭДС-Inca Energy 450) в точках опробования микрофоссилии цианобактерии.

Элементы весовой % К	Результаты точечного элементного анализа				
	Спектр 1	Спектр 2	Спектр 3	Спектр 4	Спектр 5
O	61.13	59.24	63.29	61.70	51.20
Mg	0.56	0.73	0.65	0.54	0.74
Al	11.46	8.89	7.87	8.38	14.17
Si	19.90	23.12	22.66	20.32	22.93
K	1.25	2.00	1.11	0.97	1.96
Ti	0.18				
Mn	0.70	1.33	0.37	0.56	1.87
Fe	4.83	3.19	2.37	5.12	5.66
P		0.33	0.23	0.58	0.32
S		0.60	0.88	1.13	0.61
Ca		0.57	0.57	0.70	0.53
Итого 100.00					

биоса, что существенно отличает эти частицы по составу от вмещающей их чисто карбонатной породы. Некоторыми исследователями образования подобной морфологии трактуется как минерализованная биопленка, представляющая собой в прошлом колониальное сообщество (Астафьева и др., 2011), способное объединять различные бактерии и водоросли. Действительно, эти образования покрыты упорядоченными определенным образом наночастицами, характеризующимися высоким содержанием редкоземельных элементов (Литвинова, 2009). Их присутствие может свидетельствовать о жизнедеятельности в колонии элементоспецифичных бактерий: известно, что редкоземельные и некоторые другие элементы могут избирательно замещать биос (Аверина, Ермолаев, 1979). Кроме того, бактерии и при жизни могут извлекать из воды те или иные элементы, что уже давно известно ученым, и даже активно используется как при очистке водоемов, например, от фосфора (Мино, 2000), так и для обогащения (Kagavaiko, 1985) и добычи ряда элементов (Ag, Si и др.) методом выщелачивания (Иванов, Степанов, 1960).

О том, что ископаемые биолиты сохранили следы жизнедеятельности микробиальных сообществ, свидетельствуют микрофотографии наших образцов, где покровы приурочены к минерализованным остаткам ископаемых прокариот, установленных в пробах из обособлений вернадит-липтофорит-кварцевого (табл. I, фиг. 8) (Южный Урал, Кусимовский Рудник) и доломит-кремневого составов (табл. I, фиг. 9) (Республика Татарстан, правый берег реки Волги, п. Яшельча).

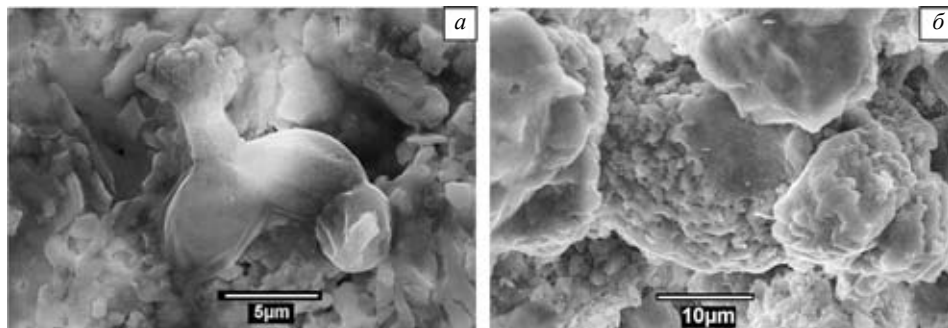


Рис. 1. Микрофотографии специфичных кристаллов кальцита, образовавшихся при разрыве клетки цианобактерии: *a* – современное отложение карбонатов в чаше источника лечебных минеральных вод Ротонда санатория Нижне-Ивкино (Куменский р-н, п. Нижне-Ивкино); *б* – доломит-кремневые образования, правый берег реки Волги, Республика Татарстан, п.п. Яшельча, Красновидово; верхняя пермь, казанский ярус.

Следует отметить, что такие специфичные, состоящие из сложно нарастающих округлых лепестков агрегаты доломита широко распространены в обособлениях из верхнепермских гипс-доломитовых отложений правого берега реки Волги, тогда как во вмещающих породах зерна доломита имеют ромбоэдрический габитус. Подтверждением их биогенной природы могут служить аналогичные по морфологии микрокристаллы карбоната, образующиеся и в настоящее время. Так, около одного из источников лечебных минеральных вод санатория Нижне-Ивкино (Куменский р-н, п. Нижне-Ивкино) нами была обнаружена и изучена корочка кальцита (1–2 мм) с захороненными минерализованными остатками цианобактерий и их построек. На одной из микрофотографий (рис. 1,*a*) представлено, как внутриклеточное вещество, прорвав оболочку клетки, катализирует процесс осаждения кальцита в виде розетки.

Еще одно наблюдение: как в современных, так и в ископаемых карбонатных образованиях, связанных с жизнедеятельностью микробиальных сообществ, совместно с описанными выше агрегатами биокарбонатов встречаются микрочастицы шарообразной или близкой к ней формы. Часто грани таких образований имеют специфично расщепленную поверхность, на первый взгляд напоминающую кристаллы второй генерации. Однако с помощью электронного микроскопа при увеличениях $\times 2000$ и более можно наблюдать непрерывность роста этих моночастиц (рис. 1,*б*).

С целью выявления в породе реликтов ископаемого органического вещества, ранее были изучены методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) пробы доломитовых и кремнисто-карбонатных обособлений из верхнепермских (P_2kz_2) отложений (Леонова и др., 2011а). Результаты показали, что в минеральных матрицах исследуемых образцов заключе-

ны остатки ископаемых органических веществ (ОВ) низкой степени метаморфизма. По ЭПР - характеристикам сигналов углеродных радикалов ($g=2.0027$, $\Delta H \approx 0.9-1.3$ Гс) их можно отнести к остаткам ОВ белкового типа, то есть к макро- и микробиоте, включающей и бактерий (Муравьев, 2007).

В заключение следует отметить, что применение электронного микроскопа оснащенного ЭДС-спектрометром, совместно с другими физическими методами позволяет существенно расширить возможности исследования биогенных и абиогенных агрегатов в осадочных породах, происхождение которых обусловлено сложными биохимическими процессами. Роль бактериальных сообществ в формировании осадочных пород в настоящее время еще не оценена в полной мере, а природа многих микроагрегатов не изучена вовсе или трактуется как хемогенная. Вопрос их происхождения может быть решен лишь при проведении дополнительных исследований по установлению природы микроагрегатов нетипичного для карбонатов габитуса, значительная часть из которых может оказаться тесно связанной с жизнедеятельностью бактериально-водорослевой колонии. Исследовательскими и экспериментальными работами продемонстрировано (Бактериальная палеонтология, 2002; Muller, 1984), что в процессе фоссилизации органики в ископаемом состоянии могут сохраняться мельчайшие фрагменты первоначального строения организма, детализация состава и строения которых возможна лишь при работе с помощью электронного микроскопа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверина А.С., Ермолаев Н.П.* 1979. Органическое вещество как промежуточная ступень в процессах концентрирования рудных элементов метаморфических пород // Геология рудных месторождений. № 3. С. 68–75.
- Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гептнер А.Р.* и др. 2011. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах. М.: ПИН РАН. 171 с.
- Бактериальная палеонтология. 2002. М.: ПИН РАН. 180 с.
- Заварзин Г.А.* 2003. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука. 348 с.
- Иванов В.И., Степанов Б.А.* 1960. Применение микробиологических методов в обогащении и гидрометаллургии. М. 29 с.
- Леонова Л.В., Главатских С.П., Галеев А.А., Королёв Э.А.* 2011а. Участие микробных организмов в образовании доломитовых обособлений из верхнепермских отложений среднего Поволжья // Минералогические перспективы. Мат-лы междунар. минералог. сем. Сыктывкар. С. 86–88.
- Леонова Л.В., Главатских С.П., Королёв Э.А., Галахова О.Л.* 2011б. Роль бактериальных сообществ в формировании марганцеворудных обособлений и про-

слоек в девонских силицитовых отложениях южного Урала // Ленинградская школа литологии. Мат-лы Всеросс. литол. совещ., посв. 100-летию Л.Б. Рухина. Т. 2. СПГУ. С.-Петербург. С. 220–222.

Литвинова Т.В. 2009. Новые данные по строению и составу строматолитовых построек (С. Прианабарье) // Литология и полезн. ископаемые. № 4. С. 428–437.

Мино Т. 2000. Селекция полифосфат-аккумулирующих бактерий для усовершенствованного биологического удаления фосфата в активизированных илах при технологических процессах очистки сточных вод // Биохимия. Т. 65. Вып. 3. С. 405–413.

Муравьев Ф.А. 2007. Литолого-минералогическая характеристика пермских маркирующих карбонатных горизонтов Республики Татарстан // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. к.г.-м.н. Казань: КГУ. 24 с.

Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. 1993 / Отв. ред. А.Ю. Розанов. 320 с.

Розанов А.Ю. 2003. Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы // Палеонтологический журнал. № 6. С. 41–49.

Biogeotechnology of metals. 1985 / Eds G.I. Karavaiko, S.N. Groudev. Proc. intern. seminar and intern. training course. Moscow. 417 p.

Muller K.P. 1984. Further observation on the phosphatisation of fossils // Symp. 5 Intern. field workshop and seminar of phosphorite. V. 1. Beijing. Geol. publ. house. P. 219–220.

Объяснение таблицы I

Микрофотографии биогенных частиц и агрегатов, установленных в исследуемых образцах.

Фиг. 1. Покровные образования со сморщенной поверхностью, обнаруженные в сплюснуто-шарообразных обособлениях доломит-кремневого состава из осадочных доломитов; правый берег реки Волги, Республика Татарстан, п. Яшельча; верхняя пермь, казанский ярус.

Фиг. 2. Аналогичные частицы, присутствующие в кварц-вернадит-литофоритовых образованиях из силицитов; Южный Урал, Абзелиловский р-н, п. Аскароро; верхний девон, гжельский ярус.

Фиг. 3. Микрофоссилии цианобактерий, обнаруженные в сплюснуто-шаровидном обособлении вернадит-литофорит-кварцевого состава; Южный Урал, Абзелиловский р-н, п. Кусимовский Рудник; средний девон, эйфельский ярус (цифрами отмечены точки элементного анализа ЭДС, представленного в таблице 1).

Фиг. 4. Разрушенная оболочка одной из клеток, сохранившаяся благодаря быстрому замещению гликокаликса диоксидом кремния.

Фиг. 5. Покровные образования с гладкой или морщинистой (шагреновой) поверхностью в обособлениях кварц-вернадит-литофоритового состава; Южный Урал, Баймакский р-н, п. Хасаново; средний девон.

Фиг. 6, 7. Идентичные по морфологии и составу частицы в строматолитах; Северное Прианбарье, р-н безымянного притока р. Фомич.

Фиг. 8. Покровные образования, приуроченные к микрофоссилиям ископаемых прокариот в обособлениях кварц-вернадит-литофоритового состава; Южный Урал, Абзелиловский р-н, п. Аскароро; верхний девон, гжельский ярус.

Фиг. 9. Специфичные агрегаты доломита, приуроченные к микрофоссилиям прокариот в пробах из доломит-кремневого образования; Республика Татарстан, правый берег реки Волги, п.п. Яшельча, Красновидово; верхняя пермь, казанский ярус.

SPECIFIC MICROAGGREGATES AND PROBLEMATIC MICROFOSSILS AS SATELLITES OF BIOGENIC ROCKS

L.V. Leonova, T.V. Litvinova, S.P. Glavatskikh

High rate of fossilization, stimulated development of pseudomorphs in microbiogenic systems along the shells of whole and broken cells. Researchers might take the latter for cheno-genetic formations of colloid compounds, aqueous silicon dioxide in particular. This paper focuses attention on micro-formations, which belong to mineralized biofilms or to fragments of fossil bacterial covers that was proved by using the methods of electron microscopy and energy-dispersive spectroscopy. Attention is drawn to some mineral aggregates of specific appearance, found in the samples studied by the authors, in stromatolites and segregations, the biomineral origin of which was established.

Key words: microfossils of fossil prokaryotes, mineralized biofilms and fragments of covers, uncommon microcrystals of biominerals.

Таблица I

