

С.А. Дьякова¹, Т.В. Литвинова², Н.Д. Сергеева¹

¹Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

²Геологический институт РАН, г. Москва

БИОГЕННЫЕ УЛЬТРАМИКРОСТРУКТУРЫ В СТРОМАТОЛИТАХ РИФЕЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье представлены результаты исследования проб из керна, включающего строматолитовые доломиты калтасинской (нижний рифей) и леузинской (верхний рифей) свит Волго-Уральской области России. С помощью сканирующего электронного микроскопа в строматолитах были установлены фоссилизированные остатки коккоидных и нитчатых микрофоссилий, а также сопровождающие их обрывки бактериальных пленок. Природа биогенных ультрамикроструктур подтверждается определением элементного состава. Фоссилизированные реликты организмов характеризуются присутствием биофильных элементов и повышенным, по сравнению с включающими их породами, содержанием углерода.

Ключевые слова: ультрамикроструктуры, карбонаты, строматолиты, рифей, Волго-Уральская область.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2023.35

Введение. В многокилометровых докембрийских толщах отдельные строматолитовые постройки приурочены к определенным стратиграфическим уровням [6, 7]. Их происхождение априори считалось «результатом жизнедеятельности водорослей и, возможно, бактерий» [7], опираясь на это предположение, была составлена формальная классификация строматолитов. Несмотря на появление мощных оптических и электронного микроскопов, попытки выявления микробиоты в строматолитовых доломитах не оправдывали ожиданий: при их исследовании наблюдался лишь однообразный криптокристаллический карбонатный материал. “К сожалению, среди карбонатных строматолитов сравнительно редко наблюдаются остатки фоссилизированных микроорганизмов” [4]. В то же время, на протяжении многих лет при исследовании на электронном микроскопе (РЭМ) самых разных пород были обнаружены многочисленные биогенные микрообъекты [1]. Прибор успешно использовался и при лабораторном моделировании роста строматолитов и поэтапного фиксирования процессов окремнения в современных отложениях [8, 1]. Однако обнаружить микроорганизмы в них долгое время не удавалось.

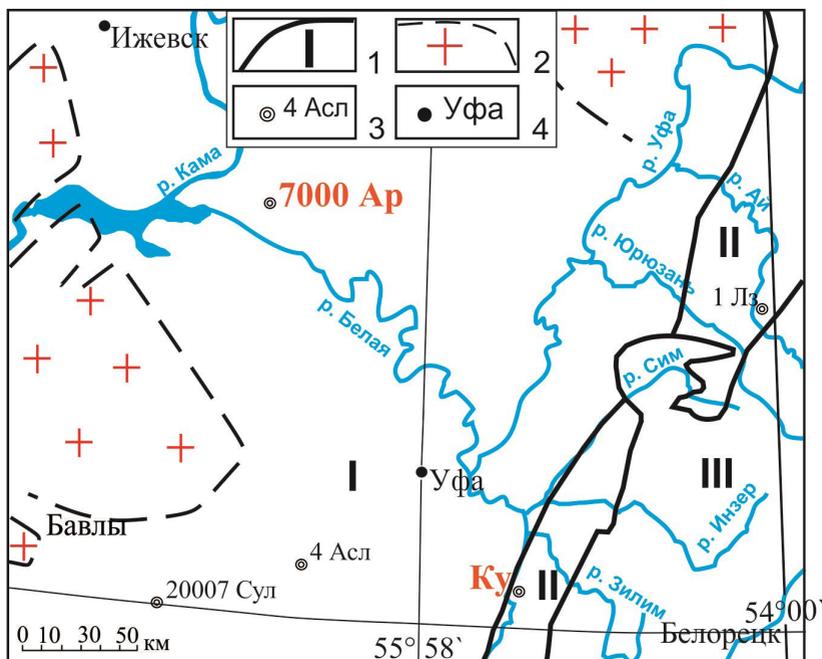


Рис. 1. Схема основных структур Волго-Уральской области и расположение скважин. Условные обозначения: 1 – границы структур первого порядка: I – восточная окраина Восточно-Европейской платформы (Камско-Бельский и Серноводско-Абдулинский авлакогены), II – Предуральский краевой прогиб, III – Уральская складчатая система; 2 – выступы кристаллического фундамента; 3 – местоположение скважины, её номер и название разведочной площади: Ар – Арланская, Асл – Аслыкулькая, Лз – Леузинская, Сул – Сулинская, КУ – Красноуловская

Новый подход к методике исследования с помощью РЭМ сделал возможным установление многочисленных остатков микроорганизмов, формирующих биогенные слои в этих породах [12, 13, 17]. В данной работе рассматриваются микроорганизмы, впервые установленные в керне рифейский строматолитов Волго-Уральской области России.

Карбонатные породы калтасинской свиты нижнего рифея относят к первично битуминозным (нефтегазопроизводящим) толщам [2, 3, 11], они обладают наибольшим нефтегазоматеринским и нефтегазогенерирующим потенциалом [5]. При благоприятных условиях, рассеянное органическое вещество способно к генерации углеводородов в породах. Это определяет актуальность и перспективность исследований микроорганизмов в строматолитовых постройках не только нижнего рифея, но и других стратиграфических уровней верхнего докембрия Волго-Уральской области.

Если строматолиты в калтасинской (нижний рифей) свите известны давно и изучены по керну скважин 20007 Сулинская, 7000 Арланская и 4 Аслыкульская, то в леузинской свите верхнего рифея Красноуольской скважины, расположенной в Предуральском краевом прогибе (рис. 1), они были вскрыты лишь в 2019 году.

Исходные данные и методы исследований. Материалом для исследования послужили строматолитовые доломиты калтасинской (RF₁) и леузинской (RF₂) свит, вскрытые соответственно скважинами 7000 Арланская и Красноуольская. Первая из них находится в 175 км к северо-западу от г. Уфы, в северной приосевой зоне Камско-Бельского авлакогена (см. рис. 1). Красноуольская скважина расположена к югу от пос. Красноуольский Гафурийского района Респ. Башкортостан, в Предуральском краевом прогибе (см. рис. 1).

Исследования проводились на сканирующих электронных микроскопах TeScan MV-2300 и Tescan Vega 4.

1. Отобранные с помощью бинокулярной лупы и отделённые механическим путем от породы керна пробы размером приблизительно 20x20 мм исследовались на TesScan MV-2300. Прибор оборудован энергодисперсионным спектрометром Cambridge Instruments INCA-200, диаметр анализируемого участка – 1 мкм, чувствительность по легкой матрице составляет 0.001%. Напыление образца проводилось золотом. Прибор использовался для исследования строматолитов калтасинской свиты скважины 7000 Арланская с глубины 2206 м и 2848 м (рис. 2Б), а также леузинской свиты Красноуольской скважины с глубины 3448 м (рис. 5Б, Геологический институт РАН, г. Москва). Установленные остатки организмов контролировались точечным химическим составом.

2. Неполированные аншлифы из образцов калтасинской свиты скважины 7000 Арланская с глубины 2846 м. размером 20x20 мм изучались с помощью микроскопа Tescan Vega 4 Compact (рис. 2Б, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа). Прибор имеет энерго-дисперсионный анализатор Xplorer 15 Oxford Instruments. Обработка спектров (рис. 3, 6) производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с применением методики TrueQ. При съемке использовались следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point&ID», диаметр пучка составил — 3 мкм

Результаты и их обсуждение. Калтасинская свита нижнего рифея впервые выделена К.Р. Тимергазиным [16] со стратотипом в скважине 3 Калтасинская.

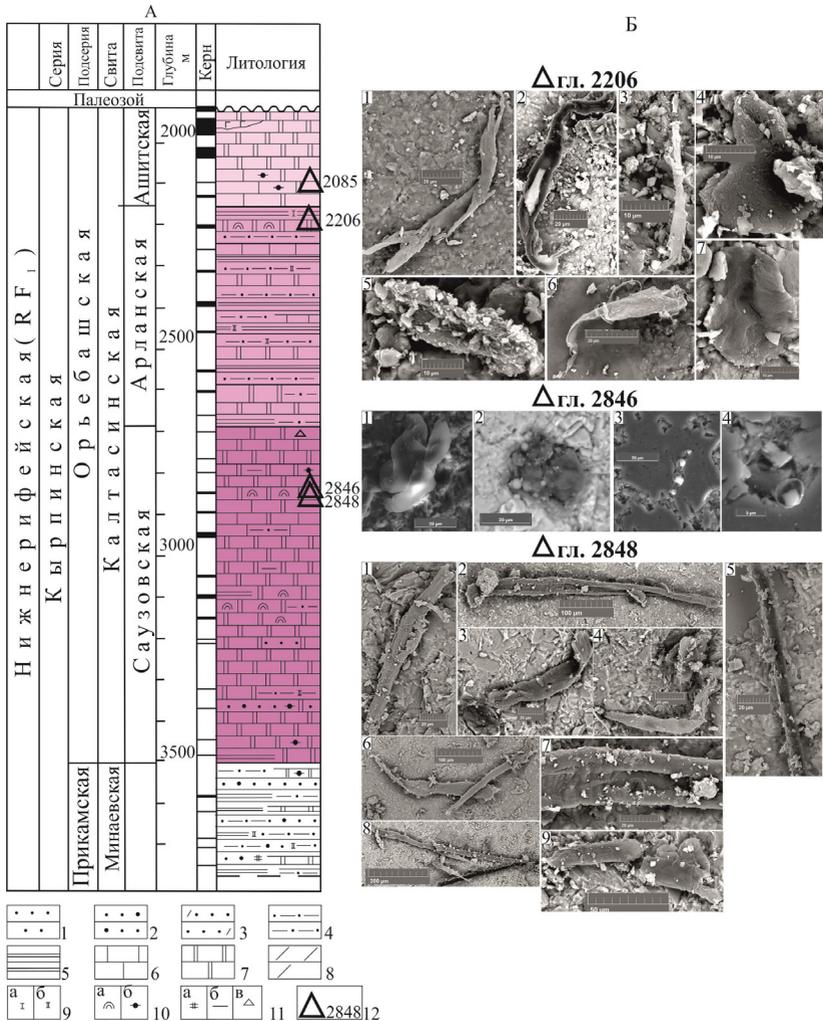


Рис. 2. Фрагмент разреза скважины 7000 Арланская (А) и микрофотографии биогенных ультрамикроструктур в строматолитах калтасинской свиты (Б)
 Условные обозначения: 1–3 – песчаники: 1 – кварцевые, 2 – полевошпат-кварцевые, 3 – полимиктовые; 4 – алевролиты; 5 – аргиллиты; 6 – известняки; 7 – доломиты; 8 – мергели; 9–11 – характеристика породы: 9 – кальцитизация (а) и доломитизация (б); 10 – строматолиты (а) и микрофитолиты (б); 11 – ангидритизация (а), глинистые (б) и брекчированные участки (в); 12 – места отбора образцов

Позднее стратиграфически полный разрез толщи был вскрыт при бурении скважины 7000 Арланская, где мощность отложений составила 1585 м (рис. 2). Изучение керна показало, что калтасинская свита сложена доломитами, включающими строматолиты и микрофитолиты, прослои и пачки аргиллитов (местами содержащих микрофоссилии), доломитовые мергели, реже – полевошпат-кварцевые алевролиты и песчаники [15].

В строматолитах, выявленных на глубине 2206 м, обнаружены обрывки бактериальных пленок (рис. 2, фото 4, 6, 7) и остатки нитчатых микрофоссилий, представленных полыми раскрытыми чехлами трихом (рис. 2, фото 1, 2, 3, 5).

В пробах керна с глубины 2846 м также установлены бактериальные пленки (рис. 2, фото 1) и скопления округлых мелких образований диаметром до 5 мкм, представляющих собой правильные шарики (рис. 2, фото 2-4) с повышенным содержанием углерода, несхожие ни с одними минеральными составляющими породы. Логично предположить, что эти округлые образования могут являться остатками коккоидных микрофоссилий и реликтами бактериальных матов.

В пробах с глубины 2848 м выявлены относительно крупные нитевидные остатки организмов длиной от 100 мкм до 600 мкм, шириной 8-12 мкм (рис. 2, фото 1-7). Они имеют палочковидную форму, гладкую поверхность, достаточно выдержанную в пределах одной находки ширину. Некоторые из них раскрыты (рис. 2, фото 1, 2, 7), в таком случае видно, что они представляют собой полые чехлы трихом. Остатки фоссилизованных нитевидных организмов часто сопровождаются плотными, обрывками вытянутых бактериальных пленок (рис. 2, фото 1-3, 6-9), иногда скрученных в несколько слоев (рис. 2, фото 1, 9).

Они частично сплюснуты и часто имеют сморщенную поверхность, возникшую в процессе литификации породы в результате обезвоживания и фоссильзации биогенного материала [12].

Биоморфные ультрамикроструктуры в этих породах, кроме карбонатного материала, характеризуются повышенным количеством, по сравнению с вмещающей породой, углерода, присутствием кислорода, а также сопровождаются незначительными примесями других биофильных элементов (хлором, реже – натрием, калием). Установленное в них повсеместное присутствие кремнезема (рис. 3) способствует сохранению морфологии бактериальной клетки [1, 8].

Вместе со строматолитами, в калтасинской свите распространены и комплексы микрофитолитов (рис. 4), в некоторых из которых были выявлены остатки цианобактерий, что подтверждает существенную роль

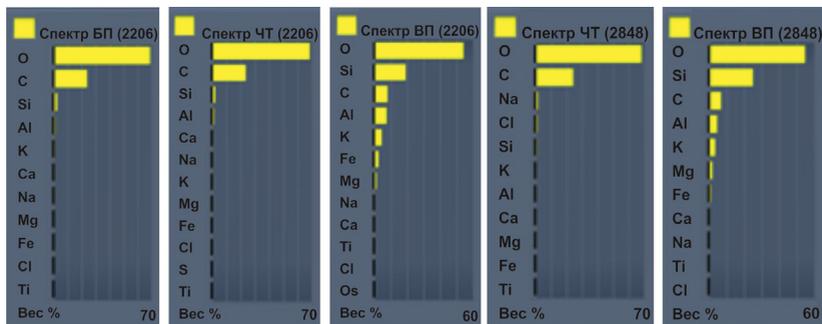


Рис. 3. Составы (весовые %) биогенных ультрамикроструктур и вмещающих их пород в скв. 7000 Арланская

Пояснения: БП – бактериальная пленка, ЧТ – чехол трихомы, ВП – вмещающая порода. В скобках указана глубина отбора образца

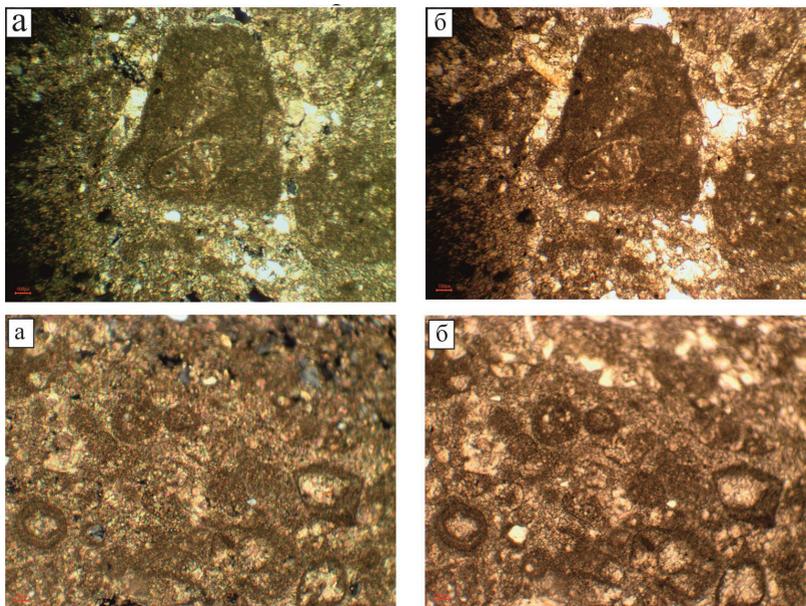


Рис. 4. Фотографии петрографических шлифов микрофитолитовых доломитов калтасинской свиты в скв. 7000 Арланская (глубина 2085 м). Николи скрещены (а) и параллельны (б)

биогенных факторов в формировании этих образований [10]. Фации микрофитолитовых карбонатных пород могут быть связаны с коллекторами нефти и газа [10], в связи с этим исследования ископаемой микрооргановики, как и в строматолитах, приобретает особое значение.

Леузинская свита верхнего рифея впервые была выделена В.И. Козловым и др. [9] со стратотипом в скважине 1 Леузинская.

Ее отложения мощностью 576 м вскрыты в Красноуольской скважине. Строматолитовые доломиты были изучены в интервале глубин 3420–3454 м (рис. 5), где они представляют собой брекчированные, мелко-кавернозные, серые и темно-серые доломиты, включающие местами пластовые, столбчатые и желваковые строматолиты с сутурами, выполненными черным углеродистым материалом. В доломитах отмечаются прожилки и линзы черных кремней [14].

При исследовании проб керна строматолитовых доломитов (гл. 3448) с помощью РЭМ установлены относительно некрупные (до 40 мкм), плотные разрозненные бактериальные пленки, некоторые из которых скомканы и скручены в плотные комки или трубочки (рис. 5, фото 1-4). В пробах встречаются также остатки фоссилезированных нитевидных организмов различной морфологии: единичный полый раскрытый

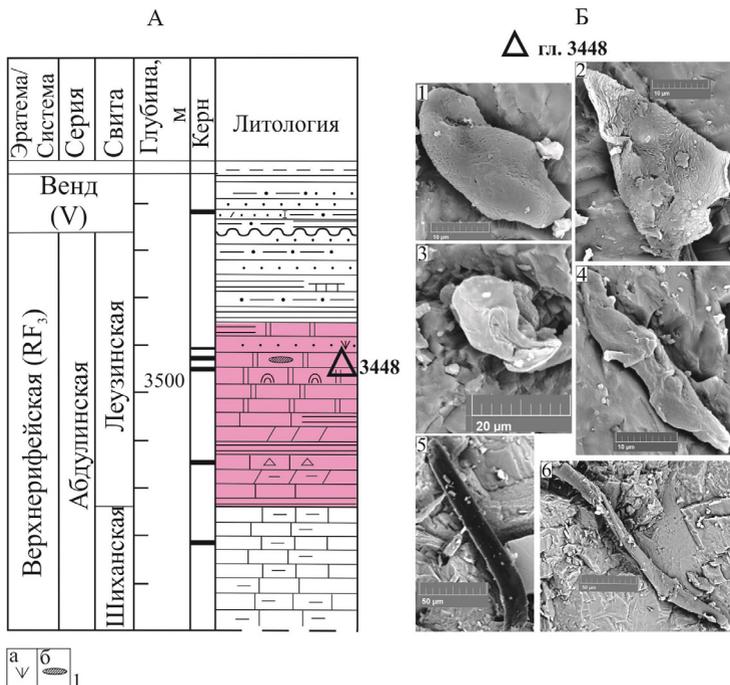


Рис. 5. Фрагмент разреза скважины Красноуольская (А) и микрофотографии биогенных ультрамикроструктур в строматолитах леузинской свиты (Б)

Условные обозначения: а – глауконит, б – линзы кремней. Остальные условные – см. рис. 2

чехол трихом выдержанной толщины (рис. 5, фото 5), несептированный и неветвящийся; частично скрученные политрихомные трубчатые образования цилиндрической формы, каждая диаметром 4 мкм. В целом такие образования невыдержанны по ширине и состоят из двух неплотно соединенных неодинаковых частей, расширяющихся в месте стыковки. Каждая из них, по-видимому, включает нити толщиной 4-6 мкм, часть из которых отчетливо фиксируются (рис. 5, фото 6). Для всех карбонатных биоморфных ультрамикроструктур характерно существенно повышенное количество углерода и кислорода, обязательное присутствие кремнезема и, в качестве примеси, отмечается магний (рис. 6).

Выводы. В результате изучения с помощью РЭМ столбчато-пластовых карбонатных строматолитов калтасинской и леузинской свит соответственно нижнего и верхнего рифея Волго-Уральской области, были установлены биогенные ультрамикроструктуры, fossilized остатки микроорганизмов и сопровождающие их цианобактериальные пленки. Предположительно выявлены коккоидные (?) и нитчатые микрофоссилии (несептированные полые трубчатые образования, политрихомные нити), рассмотрены детали их строения и элементный состав. Практически все биогенные ультрамикроструктуры заметно отличаются по составу от вмещающей карбонатной породы. Они характеризуются обязательным присутствием небольшого количества кремнезема, возрастанием количества углерода и появлением микропримесей других биофильных элементов (хлора, натрия, калия, железа).

Полученные материалы свидетельствуют о существенной роли биогенного материала в построении рифейских строматолитов и их морфологии. Изучение ископаемой микроорганики позволит использовать

ее в дальнейшем в целях стратиграфической корреляции докембрийских толщ и значительно расширит возможности осмысления вопросов эволюции древних отложений.

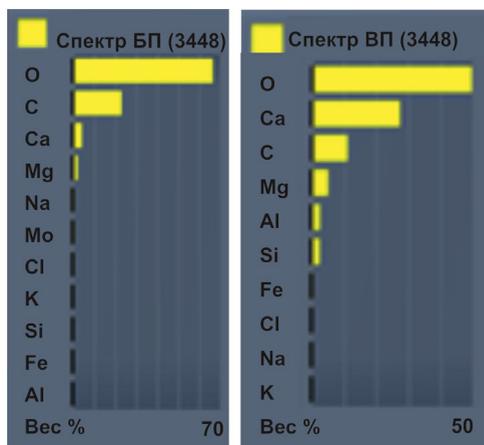


Рис. 6. Составы (весовые %) биогенных ультрамикроструктур и вмещающих их пород леузинской свиты в скв. Красноульская. Пояснения см. рис. 3

Нефтепроявления, зафиксированные в карбонатных отложениях калтасинской свиты в скважинах 7000 Арланская, 203 Бедряжская и др., свидетельствуют о возможности развития процессов генерации углеводородов из рассеянного органического вещества. Их концентрация установлена в биогенных породах, прежде всего, в строматолитах, а также в микрофитолитах. Получение нового материала, свидетельствующего о существенной роли организмов в их образовании, указывает на то, что они могут рассматриваться в качестве перспективных для поисковых работ на углеводородное сырьё, что согласуется с данными геохимических исследований этого района [5].

Исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа (тема гос. задания FMRS-2022-0013) и в рамках государственной темы Геологического института РАН г. Москва (FMMG-2023-0004), «Детализация стратиграфических подразделений протерозоя и роль глобальных изменений среды и климата в эволюции докембрийской биосферы».

Библиографический список

1. Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. 188 с.
2. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашева М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: ИПК «Звезда», 2001. 108 с.
3. Егорова Н.П. Геохимические критерии нефтегазоносности докембрия Башкирского Приуралья // Проблемы геологоразведочных работ и разработки нефтяных месторождений. Уфа, 1986. С. 73–82. (Тр. / БашНИПИнефть; Вып. 14)
4. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах. М.: ПИН РАН, 2011. 173 с.
5. Карасева Т.В., Денисов А.И., Башкова С.Е. Рифейские отложения Волго-Уральской НГП как перспективной объект для поисков углеводородов // Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Приволжского и Южного округов на 2006 и последующие годы: Тезисы докл. научно-практ. конференции. Саратов, 2005. С. 76-77.
6. Комар Вл.А. Строматолиты верхнедокембрийских отложений севера Сибирской платформы и их стратиграфическое значение. Труды ГИН АН СССР, вып. 154. 1966. 134 с.
7. Крылов И.Н. Столбчатые ветвящиеся строматолиты рифейских отложений Южного Урала и их значение для стратиграфии верхнего докембрия. Труды ГИН, выпуск 69. С. 133. 36 Табл.
8. Крылов И.Н., Тихомирова Н.С. К образованию кремнистых микрофоссилий // Палеонтол. журн. 1998. № 3. С. 3–9.
9. Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Генина Л.А., Михайлов П.Н. Комплексное обоснование корреляции допалеозойских осадочных комплексов Волго-Уральской области // Материалы Всероссийского совещания «Стратиграфия, палеонтология и перспективы нефтегазоносности рифея и венда восточной части Восточно-Европейской платформы». Часть 1. Уфа: ИГ УНЦ РАН. 1999. С. 33-40.
10. Колосов П.Н., Рожин С.С. Биохомогенные микрофитолиты неопротерозоя среднего течения реки Лены // ВЕСТНИК СВФУ, № 4 (78) 2020. С. 11–22.
11. Лагутенкова Н.С., Чепикова И.К. Верхнедокембрийские отложения Волго-Уральской области и перспективы их нефтегазоносности. М.: Наука, 1982. 112 с.

12. Литвинова Т.В. Строматолитовые фосфориты Южного Урала и их генезис // Литосфера. 2014. №2. С. 50-59.
13. Литвинова Т.В., Сергеев В.Н. Биогенные микрообразования в строматолитах Байкало-Патомского нагорья: результаты комплексного изучения // Литология и полез. ископаемые. 2018. № 2. С. 171–183.
14. Сергеева Н.Д., Солодова С.А. Литолого-петрографическая характеристика и стратиграфическое расчленение допалеозойских отложений в разрезе скважины 40 Красноуфимская (Предуральский краевой прогиб) // Геологический вестник. 2020. № 3. С. 55–67. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-4
15. Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Карасева Т.В. Верхний протерозой (рифей и венд) Волго-Уральской области в параметрических и глубоких скважинах. Уфа: Книга-Принт, 2021. 196 с.
16. Тимергазин К.Р. Очерки по истории Башкирской нефти. Уфа: Башкнигоиздат, 1956. 91 с.
17. Litvinova T.V. Biogenic–Abiogenic Interactions in Stromatolitic Geosystems and Their Mineralization // Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems. Chapter 6. Springer. 2016. P. 50–66.

**BIOGENIC ULTRAMICROSTRUCTURES IN RIPHEAN
STROMATOLITES IN THE VOLGA-URALIAN AREA (EAST
RUSSIAN PLATE)**

S.A. Dyakova, T.V. Litvinova, N.D. Sergeeva

Solodova.IG@yandex.ru

The article presents the results of a study of core samples, including stromatolite dolomites of the Kaltasa (Lower Riphean) and Leuza (Upper Riphean) formations of the Volga-Uralian area of Russia. Using a scanning electron microscope, fossilized remains of coccooid and filamentous microfossils, as well as fragments of bacterial biofilms accompanying them, were found in stromatolites. The nature of biogenic ultramicrostructures is confirmed by the determination of the elemental composition. Fossilized relics of organisms are characterized by the presence of biophilic elements and increased carbon content compared to the rocks that include them.

Keywords: ultra microstructures, carbonates, stromatolites, Riphean, Volga-Ural region.