

УДК 552.42 (470.22)

## ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЕ МИНИСТРОМАТОЛИТЫ КАРЕЛИИ: СТРУКТУРА И СТРОЕНИЕ

**О. М. Джамансартова**

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

На примере палеопротерозойского комплекса министроматолитов Карелии по характерным морфологическим признакам выделены основные подразделения наиболее широко распространенных столбчатых структур, позволяющие уточнить классификационную схему класса *Ministromatophyceae* (министроматолиты) и систематизировать имеющийся материал. С помощью метода комбинационного рассеивания (Рамановской спектроскопии) были проанализированы отдельные шлифы с министроматолитами, определен их состав и детальное строение сгустковой составляющей построек. Морфологические особенности структур, обнаруженных в сгустках, позволяют сравнить их с современными цианобактериями, что говорит об их биогенном происхождении. Это подтверждается установленными в их составе спектрами углеродистого вещества.

**Ключевые слова:** министроматолиты; Карелия; морфология; классификация; Рамановская спектроскопия; биогенность; углеродистое вещество.

### **O. M. Dzhamsartova. PALEOPROTEROZOIC MINISTROMATOLITES OF KARELIA: STRUCTURE AND COMPOSITION**

The main subdivisions among the most widespread column types in the Paleoproterozoic complex of Karelian ministromatolites were identified based on their characteristic morphological features. That helps to refine the classification of the class *Ministromatophyceae* (ministromatolites) and systematize the available material. Individual petrographic thin sections with ministromatolites were analyzed by the Raman scattering method. The results show the rock composition and the morphology details of clotted material. Morphologically, structures found in the clotted material can be compared to modern cyanobacteria, suggesting the structures are biogenic. The spectra of carbonaceous material in their composition support this point of view.

**Keywords:** ministromatolites; Karelia; morphology; classification; Raman spectroscopy; biogenicity; carbonaceous material.

### **Введение**

«Строматолит» переводится с древнегреческого как «каменные ковры» (στρώματα – ковры, λίθος – камень) [Дворецкий, 1958]. И действительно, строматолиты могут образовывать

сплошные пласты, простирающиеся на несколько километров [Маслов, 1960]. В широком смысле строматолиты – это литифицированные слоистые цианобактериальные постройки, содержащие следы жизнедеятельности этих сообществ. Преимущественно это карбонат-

ные образования, которые имеют характерные морфологические и текстурно-структурные признаки, позволяющие отличать их от сходных неорганических образований [Макарихин и др., 1995]. По данным морфологическим признакам было разработано множество классификаций, на базе которых создана и предложена единая схема с использованием ботанической номенклатуры [Медведев, Макарихин, 2005]. В рамках этой схемы цианобактериальные постройки относят к отделу *Litophyta*, в котором выделены два подотдела: *Oncolitoiphytina* (не прикрепленные к субстрату постройки) и *Stromatolitoiphytina* (прикрепленные к субстрату постройки), второй подразделяется на пять классов: *Stirio-phyceae* (стириолиты, или первично-кремнистые постройки), *Rodophyceae* (родолиты, или современные цианобактериальные постройки), *Stromatophyceae* (строматолиты, или первично-карбонатные постройки), *Trombophyceae* (тромболиты, или лишённые отчетливой слоистости строматолиты) и класс *Ministromatophyceae* (министроматолиты, или сантиметровой размерности строматолиты). Класс *Ministromatophyceae* выбран как объект детального изучения.

Впервые термин «министроматолиты» был предложен Эдхорном и Андерсеном в 1977 году для столбчато-пластовых строматолитов, высота которых – от нескольких миллиметров до более сантиметра [Edhorn, Anderson, 1977]. Хофманн и Джексон через 10 лет используют данный термин для обозначения неветвящихся пальцевидных столбчатых строматолитов с поперечным диаметром от 0,2 до 20 мм [Hofmann, Jackson, 1987]. В текущем исследовании принимается, что один из этих критериев – диаметр или высота построек – обычно не превышает 1 см. Министроматолиты образуют единичные структуры, отдельные участки в строматолитовых биогермах, биостромах и породообразующие комплексы.

В геологической летописи министроматолиты обнаружены в позднем архее 2,9–2,5 млрд лет, раннем протерозое 2,3–1,6 млрд лет, раннем рифее 1,6–1,4 млрд лет и раннем палеозое 0,57–0,40 млрд лет. Соответственно изменениям характерных признаков этих построек во времени выделяется четыре комплекса [Raaben, 2005]. Палеопротерозойский комплекс министроматолитов отличается наибольшим морфологическим разнообразием: выделено 40 формальных видов, 16 формальных родов и 4 морфокласса. Местонахождения данного возрастного комплекса зафиксированы в различных районах мира – в России (ятулий и печенгская серия Балтийского щита, акитканская

серия Сибири), в Китае (надсерии Хуго и Ченчен), в Индии (серии Аравалли и Каддапах), в Австралии (Ирахиди и Гленгарри) и в Канаде (Анимики, Белчери и др.).

В международной стратиграфической шкале докембрия палеопротерозой сопоставим с нижнепротерозойской или карельской зоной общей стратиграфической шкалы докембрия России. Территория Карелии была выбрана как стратотип для этого подразделения в результате двух стратиграфических совещаний, состоявшихся в Уфе (1990 г.) и в Апатитах (2000 г.) [Медведев и др., 2011a]. Карельская зонотема подразделяется на нижнекарельскую и верхнекарельскую, нижнекарельская включает сумийский, сариолийский и ятулийский надгоризонты региональной шкалы. Министроматолиты на территории Карелии повсеместно распространены в карбонатных породах верхней части ятулия, в интервале 2,3–2,1 млрд лет.

На сегодняшний день собрана обширная коллекция министроматолитов Карелии в Институте геологии КарНЦ РАН в г. Петрозаводске, включающая десятки образцов, требующих установления их таксономической принадлежности. Таким образом, актуальным является ее пересмотр, унификация и систематизация. Это значимо для внесения последующих уточнений в местные стратиграфические схемы и корреляции толщ, содержащих фитогенные постройки.

Министроматолиты иногда сравнивают с абиогенными докембрийскими преципитатами – слоистыми, радиально-волокнистыми, фасцикулярными осадочными текстурами с тонкой, очень ровной ритмичной слоистостью, не зависящей от направленности осадконакопления. Считается, что они образованы за счет осаждения карбоната кальция из перенасыщенных морских растворов, без непосредственного влияния микроорганизмов [Sharma, Sergeev, 2004]. Образование же цианобактериальных построек происходит при участии трех процессов: 1) захвата частиц осадка, 2) биоминерализации органической ткани, 3) осаждения минералов на поверхности слоя. При преобладании какого-либо процесса формируются разные структуры: например, при преобладании первого – строматолиты, второго – тромболиты, третьего – туфа-строматолиты [Riding, 1991]. Для выяснения биогенной природы построек изучают их детальное строение и состав, и здесь важно выявить, следуя из определений: 1) характерные морфологические и текстурно-структурные признаки, отличные от абиогенных построек, в частности, установить ориентацию построек в породе,

2) фоссилизированные организмы или следы их жизнедеятельности и их пространственное распределение относительно постройки.

## Материалы и методы

Для систематизации министроматолитовых построек Карелии необходимо выявить их основные морфологические и текстурно-структурные признаки. Материалами для проведения исследования послужили образцы и шлифы коллекции лаборатории региональной геологии и геодинамики Института геологии КарНЦ РАН г. Петрозаводска. Каменный материал был отобран из разных местонахождений строматолитов Карелии: о. Дюльмек на оз. Сегозеро, о. Южный Олений на Онежском озере, острова Месяц, Рудник, Лебединый, Красный на оз. Сундозеро, Ю берег оз. Сундозеро, д. Кузаранда, д. Пяльма, д. Пялозеро, ЮВ берег оз. Пялозеро, карьер Падозеро, карьер Белая гора, материалы скважин 5177 участка Уницко-Толвуйский, скважины 34 д. Кургачева и другие. Данные местонахождения по латеральному распространению соответствуют Центрально-Карельской и Южно-Карельской строматолитовым провинциям и в стратиграфическом разрезе относятся к туломозерской свите, сопоставимой с верхней частью ятулийского надгоризонта региональной стратиграфической шкалы – онежским горизонтом [Макарихин и др., 2007; Медведев и др., 2011б]. Проанализировано около 100 образцов министроматолитовой размерности, треть из которых требует уточнения или установления их таксономической принадлежности. Основные макроструктуры министроматолитов выделялись лабораторным методом путем визуального описания. Анализ основных микроструктур проводился с применением цифрового микроскопа «Альтами» с 4-кратным увеличением линзы.

Для аналитического исследования биогенной природы избранных столбчатых неветвящихся министроматолитов *Klimetia torosa* были выбраны полированные шлифы №№ 86, 87, 89, 90. Материалы отобраны ранее в главном карьере Южного Оленьего острова, где представлен типовой разрез слоев с *Butinella*, который содержит столбчатые неветвящиеся министроматолитовые постройки *Klimetia* sp., *Butinella* sp. с обилием онколитов, пластовые строматолиты *Stratifera* sp. и небольшие желваковые формы *Calevia* sp.

Изучение строения и состава микрофоссилий сегодня стало доступней благодаря внедрению в исследования современных пре-

цизионных методов. Исследования шлифов на наличие в них микрофоссилий и аморфного углеродистого вещества (УВ) в их составе проводились методом спектроскопии комбинационного рассеяния света на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» в Институте геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск. Применен высокоразрешающий рамановский спектрометр Nicolet Almega XR с использованием конфокального объектива 50-кратного увеличения и встроенного твердотельного лазера DPSS с длиной волны возбуждающего спектра 785 нм, мощностью 150 мВт. Спектральные характеристики рассчитывались с помощью функции Gaussian/Lorentzian. Метод позволяет подтвердить биогенную природу фоссилизированных остатков по установленным в их составе спектрам аморфного слабо упорядоченного УВ. Для установления степени преобразования УВ применен геотермометр, основанный на наличии или отсутствии спектральных линий и их интенсивностей [Kouketsu, 2014].

## Результаты

**Систематика.** Для решения поставленной задачи проведен литературный анализ диагнозов родов и морфологический анализ министроматолитовых построек Карелии. Три основные выделяемые макроструктуры – столбчатые, пластовые и желваковые. Столбчатые структуры отличаются наибольшим разнообразием морфологических форм построек и поэтому являются основным объектом изучения. Столбчатые министроматолиты относятся к порядку *Minicolumellales* и имеют дробные подразделения: неветвящиеся *Klimetia* и ветвящиеся постройки *Minicolumellae*. На базе опубликованного материала о фитогенных постройках Карелии [Макарихин, Кононова, 1983; Макарихин, 2011] к столбчатым министроматолитам можно уверенно отнести 7 родов и 14 видов. На основании морфологических особенностей построек в уточненной классификационной схеме выделены подсемейства и колена, приведены характерные для видов черты (рис. 1).

Стоит отметить, что для столбчатых неветвящихся построек *Klimetiaceae* характерна окаймленная боковая поверхность. Извилистые *Carelozoonoideae* со слабо обособленными столбиками многократно ветвятся. Субцилиндрические *Minicolumelloideae* отличаются более обособленными столбиками и им свойственны множественные соединительные мо-



Рис. 1. Уточненная классификационная схема класса *Ministromatophyceae* (министроматолиты). Темным выделены уточнения

Fig. 1. Detailed classification scheme of the class *Ministromatophyceae* (ministromatolites). Detailed features are marked with darker color

стики. Таким образом, полученные результаты с некоторыми добавлениями хорошо коррелируются с общемировыми данными по палеопротерозойскому комплексу: к грюнэриевым уверенно можно отнести извилистые *Carelozoonoideae* и, вероятно, субцилиндрические *Sundosieae* и *Djulkelleae* с пологой и полого-выпуклой аркой, к моностилидам – субцилиндрические с конической аркой *Segosieae*, к асперидам – пассивноветвящиеся *Microstylaceae*, к дактилидам – неветвящиеся субцилиндрические постройки *Butinelloideae* [Raaben, 2005].

Преыдущими исследователями показано, что физико-химические условия среды, в которых формируются строматолиты, влияют на их морфологию и размеры [Jahnert, Collins, 2012], поэтому вполне обоснованно в классификационных схемах проводить уточнения по этим формальным признакам (рис. 1 и 2). Выделение подсемейств основано на форме столбиков: субцилиндрические, извилистые и каплевидные. Критерий выделения построек с пологой, полого-выпуклой, выпуклой и конической арками, ранее применяемый для выделения семейства столбчатых неветвящихся построек

класса строматолиты, в данной работе предложен на уровне колена [Макарихин, Медведев, 2000].

На основании микроструктур чаще всего выделяют формальные виды [Титоренко, 2012]. В текущем исследовании приведены примеры микроструктур отдельно выбранных видов в рамках изложенной схемы (рис. 2). Типичной морфологической чертой, применяемой при визуальной оценке макроструктур министроматолитов, является слоистость или характер наслоений; чаще всего в описаниях используют следующие признаки: отчетливо слоистые, тонкослоистые, неяснослоистые и неслоистые. При микроскопическом рассмотрении отчетливо слоистым формам свойственны полосчатые и ленточные структуры, неяснослоистым – штриховатые или размыто-полосчатые, тонкослоистым – штриховатая или тонколенточная, едва прослеживаемая, неслоистым несвойственны полосчатые, ленточные и штриховатые черты и свойственны однородные микроструктуры (рис. 2). При первом рассмотрении также прослеживается, что столбчатым неветвящимся министроматолитам *Klimetiaceae* характерна комковатая микроструктура, тогда

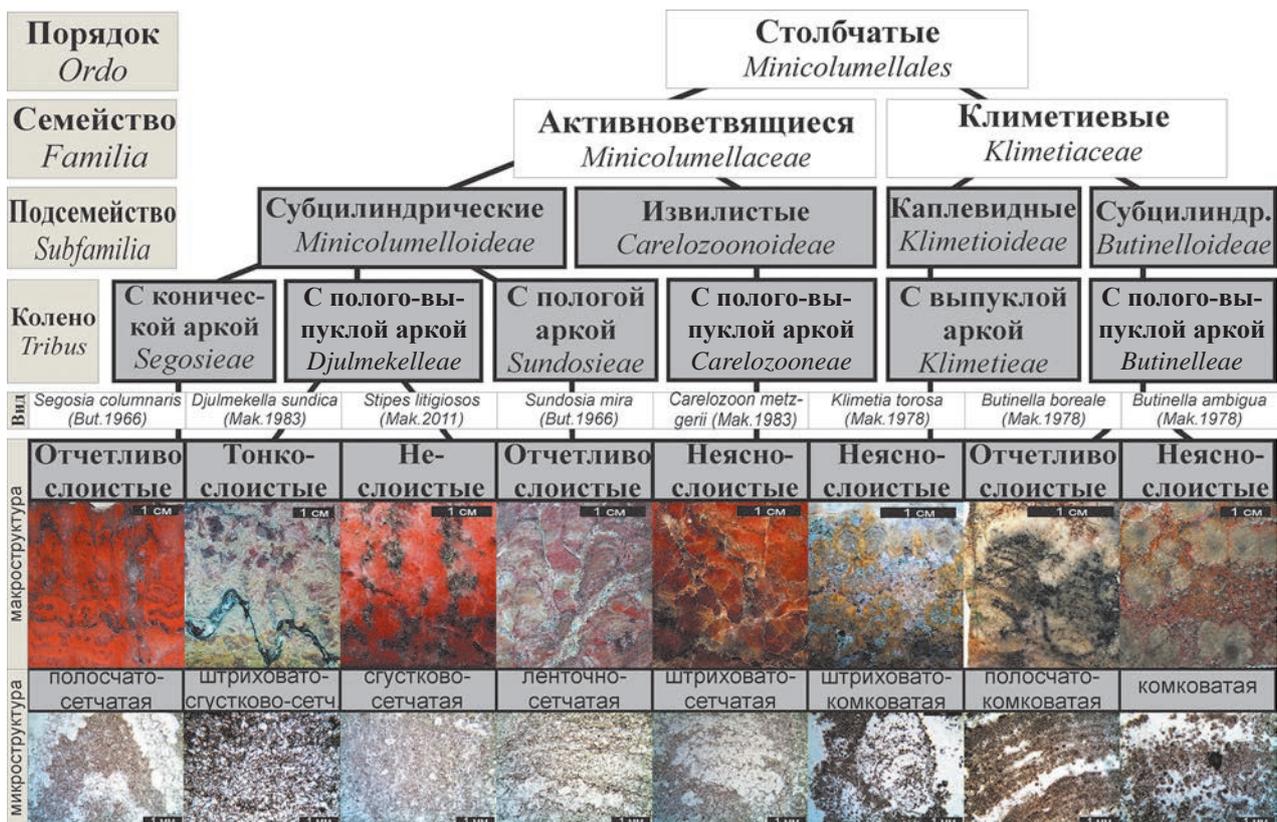


Рис. 2. Макро- и микроструктуры некоторых видов столбчатых министроматолитов Карелии  
 Fig. 2. Macro- and microstructures of some Karelian columnar ministromatolites species

как активноразветвляющимся *Minicolumellaceae* – сетчатая.

**Биогенность.** Избранные министроматолитовые постройки *Klimetia torosa* отличаются от преципитат микроструктурами: отсутствуют равномерно тонкие и ровные слоистости и радиально-волокнистые структуры, по всей площади постройки присутствуют неравномерно распределенные сгустковые скопления. Министроматолиты расположены послойно в породе, ориентированы нормально по отношению к общему напластованию. Формируют штриховато-комковатую микроструктуру (рис. 2).

В составе микроструктур исследуемых построек выделяются два явных компонента, иногда формирующие слоистость, – светлые минеральные агрегаты и темная пелитоморфная сгустковая составляющая разнообразных форм и размеров. Для детализации был проведен морфологический и сравнительный анализ, благодаря которому в слоях, сформированных сгустками, зафиксированы формы размером в поперечнике от первых микрон до десятков микрон, соотносимые по формам и размерам с современными цианобактериями (рис. 3). Обнаружены округлые, удлиненные и сдво-

енные сферические формы, окруженные чехлом, у трубчатых присутствуют перегородки, наблюдаются колонии сфер и разнообразные нитевидные формы. Выявлена многочисленная повторяемость данных образований, их неравномерное распределение по всей площади построек, как на поверхности, так и в слое.

Применяя метод комбинационного рассеяния на присутствие УВ в составе данных структур, можно более убедительно говорить об их биогенной природе [Schopf et al., 2005]. С помощью спектральных характеристик определен доломитовый состав пород с акцессорными минералами в виде кварца, рутила, фторапатита, гематита и других. В исследуемых сгустках зафиксированы спектральные линии углеродистого вещества D4, D1, D3, G, D2, которые имеют соответствующие пики в интервалах 1245–1308, 1310–1380, 1515–1535, 1561–1593 и 1589–1612 см<sup>-1</sup>. Наличие спектра D4 говорит о том, что температура преобразований – до 340 °С. Наличие всех пяти линий и установленный пик G в большинстве проб в районе 1593 см<sup>-1</sup> свидетельствует, что температурный диапазон преобразований – от 280 до 340 °С. Отношение интенсивности пиков G/D1 от 0,27 до 1,4, что, соответственно, меньше 1,5, под-

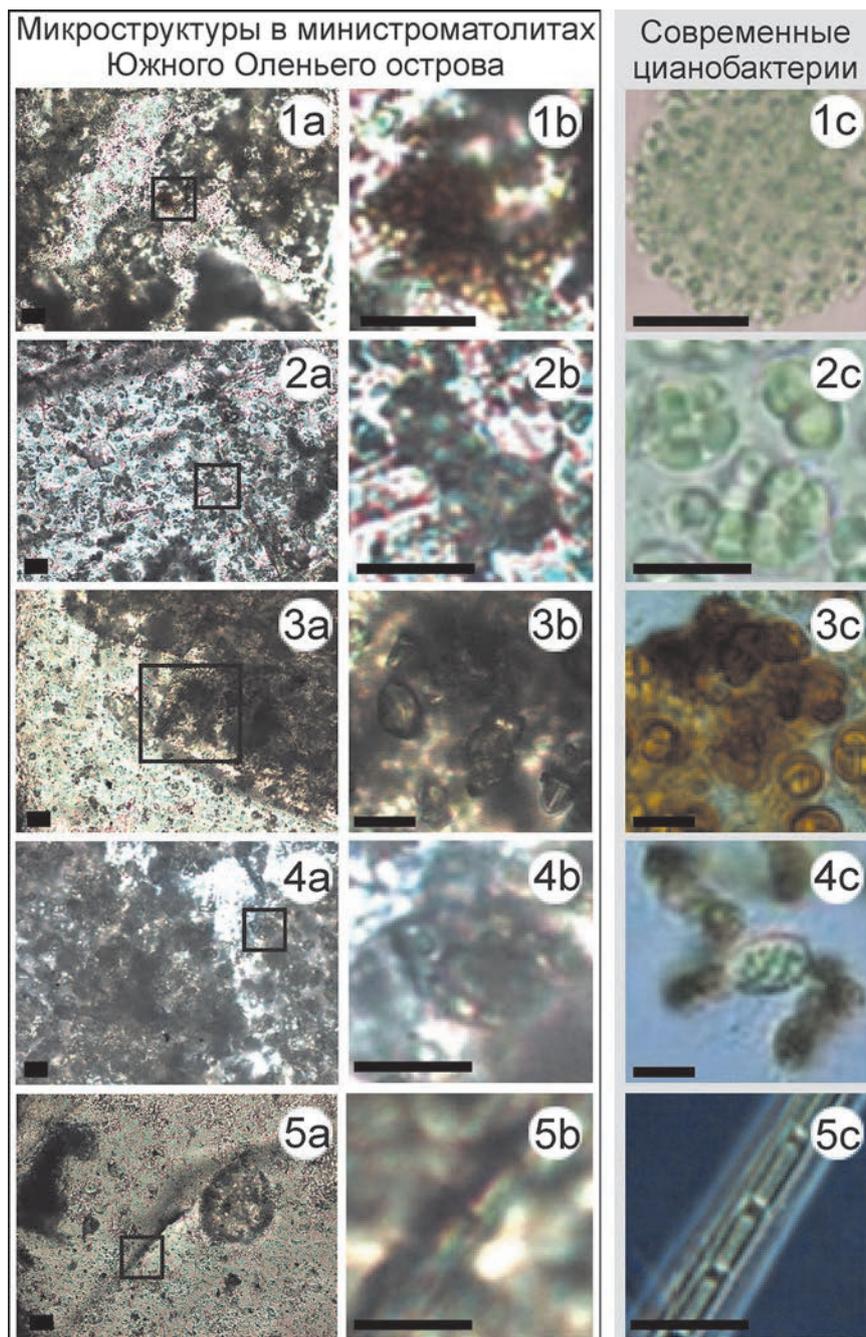


Рис. 3. Микрофотографии структур, обнаруженных в сгустковых образованиях, и их сравнение с современными цианобактериями. Полированные шлифы №№ 86 (1), 87 (2), 89 (3, 4), 90 (5) с министроматолитами Южного Оленьего острова.

Изображения 1а, 2а, 3а, 4а, 5а сделаны с применением Рамановского спектрометра. Выделенные прямоугольником участки приведены на рисунках 1b, 2b, 3b, 4b, 5b. Справа приведены изображения современных цианобактерий: 1с – *Aphanocapsa* sp., 2с – *Chroococcidiopsis* sp., 3с – *Gloeocapsopsis* sp., 4с – *Anabaena* sp., 5с – *Wolskyella* sp. [Gallery...]. Длина масштабных отрезков 10 мкм

Fig. 3. Some structures from clotted material in comparison with modern cyanobacteria found in petrographic thin sections No. 86 (1), 87 (2), 89 (3, 4), 90 (5) with ministromatolites from Yuzhny Oleny Island.

Pictures on the left side (1a, 2a, 3a, 4a, 5a) were taken using the Raman imagery (black rectangle area is shown in the middle row 1b, 2b, 3b, 4b, 5b). Modern cyanobacteria are shown on the right side: 1c) *Aphanocapsa* sp., 2c) *Chroococcidiopsis* sp., 3c) *Gloeocapsopsis* sp., 4c) *Anabaena* sp., 5c) *Wolskyella* sp., pictures are captured from [Gallery...]. Scale bar is 10 μm

тверждает эти диапазоны [Kouketsu, 2014]. углерод находится в начальной стадии преобразования. Таким образом, установлено, что аморфный

## Заключение

Благодаря предложенной расширенной классификационной схеме класса министроматолитов удалось систематизировать постройку палеопротерозойского комплекса.

В исследуемых микроструктурах министроматолитовых построек *Klimetia torosa* обнаружены микрофоссилии, об этом свидетельствует морфология этих образований и установленное в их составе слабо упорядоченное углеродистое вещество в начальной стадии преобразования. Таким образом, неровная штриховато-комковатая микроструктура, послойное, нормальное к общему напластованию распределение министроматолитовых построек в породе, обнаружение многочисленных микрофоссилий в темной пелитоморфной части микрослоев подтверждает биогенное происхождение построек.

Автор выражает благодарность П. В. Медведеву и С. Ю. Чаженгиной за консультативную помощь и рекомендации в проведенном исследовании, В. А. Колодей – за помощь в подготовке аналитической аппаратуры.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН).

## Литература

Дворецкий И. Х. Древнегреческо-русский словарь: в 2 т. / Ред. С. И. Соболевский. М.: ГИС, 1958. 1904 с.

Макарихин В. В. Палеонтологические исследования палеопротерозоя Карелии // Геология Карелии от архея до наших дней. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 71–78.

Макарихин В. В., Кононова Г. М. Фитолиты нижнего протерозоя Карелии. Л.: Наука, 1983. 180 с.

Макарихин В. В., Медведев П. В. Строматолиты. Методы исследования // Научные Он-Лайн проекты Института геологии. 2000. URL: [http://old.igkrc.ru/rus/htm\\_files/projects/str/str.htm](http://old.igkrc.ru/rus/htm_files/projects/str/str.htm) (дата обращения: 27.04.2018).

Макарихин В. В., Медведев П. В., Рычанчик Д. В. Роль биотического фактора в ятулийском седиментогенезе // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерагения Северо-Запада России. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2007. С. 241–245.

Макарихин В. В., Медведев П. В., Сацук Ю. И. Расчленение и корреляция ятулия стратотипической местности // Очерки геологии докембрия Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1995. С. 72–83.

Маслов В. П. Строматолиты // Труды ГИН АН СССР. 1960. Вып. 41. 186 с.

Медведев П. В., Макарихин В. В. Фитогенные постройки и их место в поле информации о биосфере // Эволюция жизни на Земле: Тр. 3-го Междунар. симп. Томск, 2005. С. 405–406.

Медведев П. В., Макарихин В. В., Рычанчик Д. В. Схема строения ятулийского надгоризонта, выбор опорных разрезов // Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011а. С. 52–61.

Медведев П. В., Макарихин В. В., Рычанчик Д. В. Стратиграфия палеопротерозоя восточной части Фенноскандинавского щита: состояние, проблемы и перспективы // Геология Карелии от архея до наших дней. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011б. С. 66–70.

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

Edhorn A.-St., Anderson M. M. Algal remains in the Lower Cambrian Bonavista Formation, Conception Bay, southeastern Newfoundland // Fossil Algae. Vol. 12. Berlin: Springer, 1977. P. 113–123. doi: 10.1007/978-3-642-66516-5\_12

Gallery. Sinice a rasy. URL: <http://galerie.sinicea-rasy.cz/galerie/cyanobacteria> (дата обращения: 27.04.2018).

Hofmann H. J., Jackson G. D. Proterozoic mini-stromatolites with radial-fibrous fabric // Sedimentology. Vol. 34, iss. 6. P. 963–971. doi: 10.1111/j.1365-3091.1987.tb00586.x

Jahnert R. J., Collins L. B. Characteristics, distribution and morphogenesis of subtidal microbial systems in Shark Bay, Australia // Mar. Geol. 2012. Vol. 303–306. P. 115–136. doi: 10.1016/j.margeo.2012.02.009

Kouketsu Y., Mizukami T., Mori H., Endo S., Aoya M., Hara H., Nakamura D., Wallis S. A new approach to develop the Raman carbonaceous material geothermometer for low-grade metamorphism using pear width // Island Arc. 2014. Vol. 23. P. 33–50.

Raaben M. E. Archean and proterozoic ministoromatolites: Taxonomic composition of successive assemblages // Stratigraphy and Geol. Correlation. 2005. Vol. 13, no. 4. P. 367–379.

Riding R. Classification of microbial carbonates // Calcareous Algae and Stromatolites. Springer-Verlag, Berlin, 1991. P. 21–51.

Schopf J. W., Kudryavstev A. B., Agresti D. G., Czaja A. D., Wdowiak T. J. Raman imagery: A new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils // Astrobiology. 2005. Vol. 5. P. 333–371. doi: 10.1089/ast.2005.5.333

Sharma M., Sergeev V. N. Genesis of carbonate precipitate patterns and associated microfossils in Mesoproterozoic formations of India and Russia – a comparative study // Precambrian Res. 2004. Vol. 134. P. 317–347. doi: 10.1016/j.precamres.2004.07.001

Поступила в редакцию 11.05.2019

## References

*Dvoretzkii I. Kh.* Drevnegrechesko-russkii slovar': v 2 t. [Ancient Greek – Russian dictionary]. Ed. S. I. Sobolevsky. Moscow: GIS, 1958. 1904 p.

*Makarikhin V. V.* Paleontologicheskie issledovaniya paleoproterozoya Karelii [Paleontology studies of the Paleoproterozoic Karelia]. *Geol. Karelii ot arkheya do nashikh dnei* [Geol. of Karelia from the Archean to the present]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 71–78.

*Makarikhin V. V., Kononova G. M.* Fitolity nizhnego proterozoya Karelii [Lower proterozoic phytolites of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1983. 180 p.

*Makarikhin V. V., Medvedev P. V.* Stromatolity. Metody issledovaniya [Stromatolites. Research methods]. *Nauch. On-Line proekty Inst. geol.* [Sci. On-Line projects of the Inst. Geol.]. 2000. URL: [http://old.igkrc.ru/rus/htm\\_files/projects/str/str.htm](http://old.igkrc.ru/rus/htm_files/projects/str/str.htm) (accessed: 27.04.2018).

*Makarikhin V. V., Medvedev P. V., Rychanchik D. V.* Rol' bioticheskogo faktora v yatuliiskom sedimentogeneze [The role of the biotic factor in the Jatulian sedimentation]. *Geodinamika, magmatizm, sedimentogenez i minerageniya Severo-Zapada Rossii* [Geodyn. Magm. Sedim. Miner. of the North-West of Russia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 241–245.

*Makarikhin V. V., Medvedev P. V., Satsuk Yu. I.* Raschlenenie i korrelyatsiya yatuliya stratotipicheskoi mestnosti [Dismemberment and correlation of the Jatulian stratotype region]. *Ocherki geol. dokembriya Karelii* [Geol. Ess. of Precambrian Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1995. P. 72–83.

*Maslov V. P.* Stromatolity [Stromatolites]. *Trudy GIN AN SSSR* [Trans. Geol. Inst. AS USSR]. 1960. Iss. 41. 186 p.

*Medvedev P. V., Makarikhin V. V.* Fitogennye postroiki i ikh mesto v pole informatsii o biosfere [Phylogenetic structures and their place in the field of biosphere information]. *Evolyutsiya zhizni na Zemle: Tr. 3-go Mezhdunar. simp.* [Trans. the 3<sup>rd</sup> Intern. Symp. The evolution of life on the Earth]. Tomsk, 2005. P. 405–406.

*Medvedev P. V., Makarikhin V. V., Rychanchik D. V.* Skhema stroeniya yatuliiskogo nadgorizonta, vybor opornykh razrezov [Structure scheme of the Jatulian overhorizon, selection of base sections]. *Onezhskaya paleoproterozoiskaya struktura (geol., tektonika, glubinnoe stroenie i minerageniya)* [Paleoproterozoic Onega structure (geol., tectonics, deep structure, and mineralogeny)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011a. P. 52–61.

*Medvedev P. V., Makarikhin V. V., Rychanchik D. V.* Stratigrafiya paleoproterozoya vostochnoi chasti Fen-

noskandinavskogo shchita: sostoyanie, problemy i perspektivy [Paleoproterozoic stratigraphy of the Eastern Fennoscandian Shield: state of art, problems, and perspectives]. *Geol. Karelii ot arkheya do nashikh dnei* [Geol. of Karelia from the Archean to the present]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011b. P. 66–70.

*Titorenko T. N., Anisimova S. A., Anisimov A. Yu.* Paleontologiya dokembriya. Fitolity (stromatolity i mikrofitolity): ucheb.-metod. posobie [Precambrian paleontology. Phytoliths (stromatolites and microphytolites): a study guide]. Irkutsk: IGU, 2012. 117 c.

*Edhorn A.-St., Anderson M. M.* Algal remains in the Lower Cambrian Bonavista Formation, Conception Bay, southeastern Newfoundland. *Fossil Algae*. Vol. 12. Springer, Berlin, 1977. P. 113–123. doi: 10.1007/978-3-642-66516-5\_12

*Gallery. Sinice a rasy* [Cyanobacteria and algae]. URL: <http://galerie.sinicearasy.cz/galerie/cyanobacteria> (accessed: 27.04.2018).

*Hofmann H. J., Jackson G. D.* Proterozoic mini-stromatolites with radial-fibrous fabric. *Sedimentology*. 1987. Vol. 34, iss. 6. P. 963–971. doi: 10.1111/j.1365-3091.1987.tb00586.x

*Jahnert R. J., Collins L. B.* Characteristics, distribution and morphogenesis of subtidal microbial systems in Shark Bay, Australia. *Mar. Geol.* 2012. Vol. 303–306. P. 115–136. doi: 10.1016/j.margeo.2012.02.009

*Kouketsu Y., Mizukami T., Mori H., Endo S., Aoya M., Hara H., Nakamura D., Wallis S.* A new approach to develop the Raman carbonaceous material geothermometer for low-grade metamorphism using pear width. *Island Arc*. 2014. Vol. 23. P. 33–50.

*Raaben M. E.* Archean and Proterozoic microstromatolites: Taxonomic composition of successive assemblages. *Stratigraphy and Geol. Correlation*. 2005. Vol. 13, no. 4. P. 367–379.

*Riding R.* Classification of microbial carbonates. *Calcareous Algae and Stromatolites*. Springer-Verlag, Berlin, 1991. P. 21–51.

*Schopf J. W., Kudryavstev A. B., Agresti D. G., Czaja A. D., Wdowiak T. J.* Raman imagery: A new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils. *Astrobiology*. 2005. Vol. 5. P. 333–371. doi: 10.1089/ast.2005.5.333

*Sharma M., Sergeev V. N.* Genesis of carbonate precipitate patterns and associated microfossils in Mesoproterozoic formations of India and Russia – a comparative study. *Precambrian Res.* 2004. Vol. 134. P. 317–347. doi: 10.1016/j.precamres.2004.07.001

Received May 11, 2019

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Джамансартова Оксана Мураткуловна**

аспирант  
Институт геологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: efats@mail.ru

## CONTRIBUTOR:

**Dzhamansartova, Oksana**

Institute of Geology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: efats@mail.ru