
БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 574.474

DOI 10.25587/SVFU.2023.61.39.001

Экосистема строматолитов бюкского времени вендского периода

П. Н. Колосов¹ ✉, И. Ф. Охлопкова²

¹Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия

✉ petrkolosov36@mail.ru

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Аннотация. В вендском периоде (650–541 млн лет назад) современная территория Сибири находилась недалеко от палеоэкватора, была отдельным континентом. Теплые моря на Сибирской платформе были благоприятными для развития микроорганизмов, остатки которых сохранились в окаменевшем виде в карбонатных отложениях. В 1972 г. строматолиты столбчатой формы в порохтахской свите (венд, р. Олекма) северо-западного склона Алданской антеклизы названы «юрюзания туруктахика». Установлено их присутствие и в бюкской свите венда на юге Березовского прогиба. Какой была экосистема этого строматолита во время его формирования? Этому вопросу посвящена данная статья, которая базируется на изложенных ранее методике и результатах. Строматолиты сформировались на мелководье эпиконтинентального моря. Их фундамент в форме пластовых строматолитов заложили своей породообразующей жизнедеятельностью коккоидные цианобактерии и пластинчатые зеленые водоросли при участии бактерий. Как и современные водоросли, вендские формы предположительно выделяли в водную среду такие органические вещества, как углеводы, аминокислоты, липиды, фенолы и ферменты. Кроме водорослей, крахмалы образовывали цианобактерии. Богатая органикой экосистема пластовых строматолитов привлекала питающиеся готовыми органическими веществами водные одноклеточные дрожжевые грибы, которые паразитировали на талломах водорослей. Дрожжи размножались путем образования спор, делением и почкованием. Клетки (особи) росли путем выпячивания оболочек, образования выростов. По аналогии с современными дрожжами бюкские формы, по-видимому, в благоприятной палеоэкосистеме размножались и росли очень быстро. Так начался рост строматолитов столбчатой формы («юрюзания туруктахика»). В рассматриваемой изменчивой из-за приливов и отливов экосистеме сперва появились дрожжево-мицелиальные грибы *Sakhi solomonovi*, а затем мицелиальные грибы *Surninia implicata*. Так первоначально водные грибы постепенно адаптировались к наземным условиям. Известно, что на суше грибов много и они очень разнообразны. Начало этому было заложено не позднее 500 млн лет назад.

Ключевые слова: экосистема столбчатых строматолитов, зеленые водоросли, дрожжевые грибы, венд, Сибирская платформа.

Исследования выполнены за счёт финансирования госзадания.

Для цитирования: Колосов П. Н., Охлопкова И. Ф. Экосистема строматолитов бюкского времени вендского периода. Вестник СВФУ. 2023, Т. 20, №2. С. 5–14. DOI: 10.25587/SVFU.2023.61.39.001.

Ecosystem of the byuk stromatolites in the vendian period

P. N. Kolosov¹ ✉, I. F. Okhlopova²

¹Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

✉ petrkolosov36@mail.ru

²M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Abstract. In the Vendian (650–541 Ma), the modern territory of Siberia, located close to the paleoequator, was a separate continent. The warm seas on the Siberian platform were favorable for the development of microorganisms, with their remains preserved in fossilized forms in carbonate sediments. In 1972, columnar stromatolites in the Porokhtakh formation (Vendian, Olyokma river) of the northwestern slope of the Aldan antecline were named "Jurusanatuructachica". Their presence has also been established in the Byuk formation of the Vendian in the south of the Berezovsky trough. What was the ecosystem of this stromatolite at the time of its formation? This issue is the subject of the article, based on the previously described methodology and results. Stromatolites were formed in the shallow waters of the epicontinental sea. They were formed by coccoid cyanobacteria and lamellar green algae, whose rock-forming vital activity laid the foundation in the form of stratified stromatolites. Similar to modern algae, Vendian forms supposedly released organics such as carbohydrates, amino acids, lipids, phenols and enzymes into the aquatic environment. In addition to algae, cyanobacteria also formed starches. The ecosystem of stratified stromatolites abundant in organic matter attracted aquatic unicellular yeast fungi that fed on ready-made organics and parasitized algae thalli. Yeast reproduced by spore formation, division and budding. Cells (individuals) grew through the bulging of the coating and outgrowths formation. By comparison with modern yeasts, the Byuk forms, evidently, reproduced and grew very quickly within a favorable paleoecosystem. Thus began the growth of columnar stromatolites ("Jurusanatuructachica"). In the ecosystem under discussion, due to the changing nature of the tides, the yeast-mycelial fungi *Sakhi solomonovi* first appeared, and then the mycelial fungi *Surninia implicate*. This is how initially aquatic fungi gradually adapted to terrestrial conditions. It is known that there are a great number of fungi on the Earth and they are very diverse, as their formation began no later than 500 million years ago.

Key words: ecosystem of columnar stromatolites, green algae, yeast fungi, Vendian, Siberian platform.

The research was carried out at the expense of state funding.

For citation: Kolosov P. N., Okhlopova I. F. Ecosystem of the byuk stromatolites in the vendian period. Vestnik of NEFU. 2023, Vol. 20, No. 2. Pp. 5–14. DOI: 10.25587/SVFU.2023.61.39.001.

Введение

В наши дни хорошо известны коралловые рифы, образующиеся в результате минерализации кораллов. Немного похожие на них по морфологии и природе органогенно-седиментационные донные образования, возникающие при участии в основном цианобактерий и водорослей, называются строматолитами. В докембрии, т. е. до 541 млн лет назад, на многих континентах был расцвет цианобактерий, а в рифее – и водорослей, и, как следствие, в разрезах отложений разного возраста появились строматолиты. По форме они пластовые, желваковые, столбчатые и т. д. В начале 1960-х годов в Западном Приуралье в слоях карбонатных пород, накопившихся в катавское время позднего рифея, были обнаружены столбчатой формы строматолиты, которые описали под названием «юрюзания» (от р. Юрюзань, притока р. Уфа) [1]. Вендского возраста

форма юрюзания под названием туруктахика («Jurusania tuructachica»), представляющая собой субцилиндрические столбики, была описана В. Ю. Шенфилем [2] из порохтахской свиты северо-западного склона Алданской антеклизы по р. Олекма. На юге Березовского прогиба аналог порохтахской свиты верхнего венда геолого-съёмочными партиями экспедиций картировался как тинновская свита [3]. В настоящее время он именуется бюкской свитой [4]. По материалам буровых скважин, расположенных в бассейне р. Торго, разрез этой свиты состоит (снизу вверх) из базальных кварцевого состава гравелито-песчаников (до 3 м), доломитов, местами глинистых или окремненных, известняков и аргиллитов. Мощность бюкской свиты 112–142 м.

Материал

Характеризуемые в статье строматолиты «юрюзания туруктахика» происходят из бюкской (порохтахской) свиты венда юга Березовского прогиба Сибирской платформы (рис. 1). Образцы собраны А. А. Сурным – старшим научным сотрудником Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН по р. Торго (левый приток р. Токко

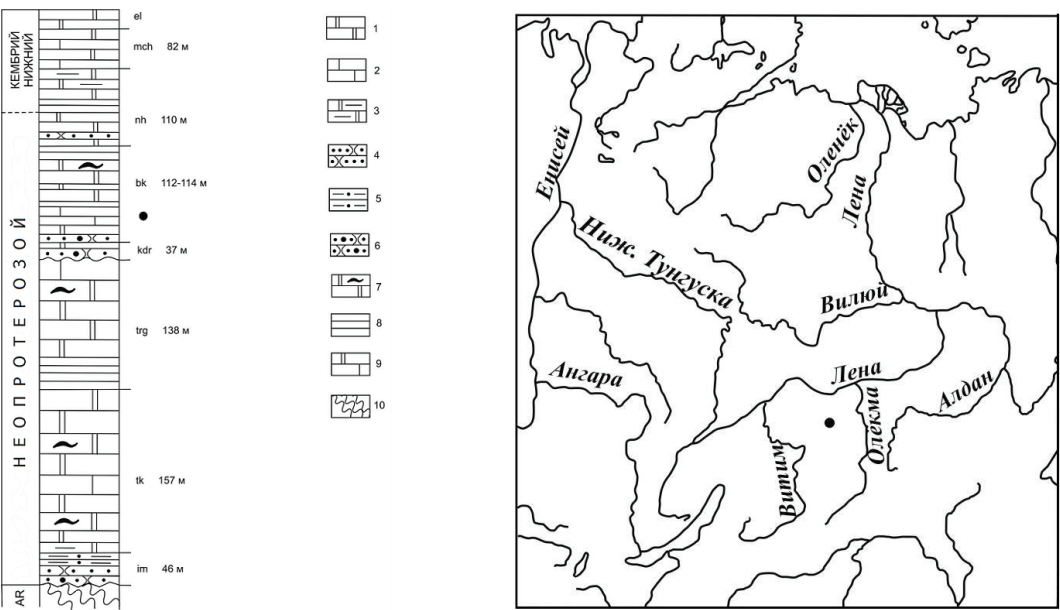


Рис. 1. Литологическая колонка неопротерозойских (рифейских и вендских) отложений на юге Берёзовского прогиба [4, с. 19, фиг. 3.3.6.] и схематическая карта Западной Якутии.

Место сбора образцов строматолитов «юрюзания туруктахика» обозначено точкой

Условные обозначения: 1 – доломиты, 2 – известняки, 3 – доломиты глинистые, 4 – песчаники, 5 – алевролиты, 6 – гравелито-песчаники, 7 – линзы темно-серого кремня, 8 – аргиллиты, 9 – доломиты известковистые и известняки доломитистые, 10 – породы кристаллического фундамента; свиты: el – эльгянская, mch – машинская, nh – нохтуйская, bk – бюкская, kdr – кэдэргинская, trg – торгинская, tk – токкинская, im – ималыкская

Fig. 1. Lithological column of Neoproterozoic (Riphean and Vendian) deposits in the south of the Berezovsky trough [4, p. 19, fig. 3.3.6.] and schematic map of Western Yakutia. The place of collection of samples of stromatolites “Jurusaniatuructachica” is indicated by the point

Legends: 1 – dolomites, 2 – limestones, 3 – clayey dolomites, 4 – sandstones, 5 – siltstones, 6 – gravel-sandstones, 7 – lenses of dark gray flint, 8 – mudstones, 9 – calcareous dolomites and dolomitic limestones, 10 – rocks of the crystalline basement; suites: el – Elgyanskaya, mch – Machinskaya, nh – Nokhtuyskaya, bk – Byukskaya, kdr – Kederginskaya, trg – Torginskaya, tk – Tokkinskaya, im – Imalykskaya



Рис. 2. Строматолиты столбчатой формы «юрюзания туруктахика» бюкского времени вендского периода

Fig. 2. The Byuk Columnar stromatolites “Jurusaniatuructachica” of the Vendian period

в бассейне р. Олекмы). Эти строматолиты представляют собой ровные субцилиндрические столбики толщиной 0,5–2,0 см и высотой 8–15 см (рис. 2). Фундаментом для них служат пластовой формы строматолиты. Поперечное сечение столбиков овальное со сложными извилистыми контурами. У основания столбики более тонкие (0,4–0,5 см), немного расширяются кверху. Довольно редко наблюдается деление на два столбика меньшего диаметра. Боковое ограничение столбиков четкое за счет существования оторочки светлого кальцита, обволакивающего столбики. В нижних частях столбиков оторочка отсутствует. На отдельных участках микрослои облекают боковую поверхность столбиков, но чаще они круто обрываются к межстолбиковому пространству или образуют нависающие козырьки. Очень редко в столбиках наблюдаются ниши, в которых вырастают мелкие (0,5–1,0 см высотой) «дочерние» столбики. Слоистость четкая, чередуются несколько утолщенные в осевых частях столбиков слои светло-серого и буровато-серого карбоната кальция. Форма слоев выпуклая в направлении роста. Отношение высоты арок к толщине столбиков 0,5–1,0 см.

Экосистема строматолитов «юрюзания туруктахика»

В Сибири рифейские отложения распространены широко, на многих стратиграфических уровнях они представлены строматолитами, экосистема которых во время их образования, когда микроорганизмы были живыми и создавали своей жизнедеятельностью эти постройки, остается неизученной. Строматолиты бюкской свиты сформировались на мелководье эпиконтинентального моря. Их фундамент в форме пластовых строматолитов, называемых исследователями «стратиферами», заложили коккоидные цианобактерии и пластинчатые зеленые водоросли при участии бактерий [5]. Здесь и далее имеется в виду, что в бюкское время обнаруженные в окаменевшем

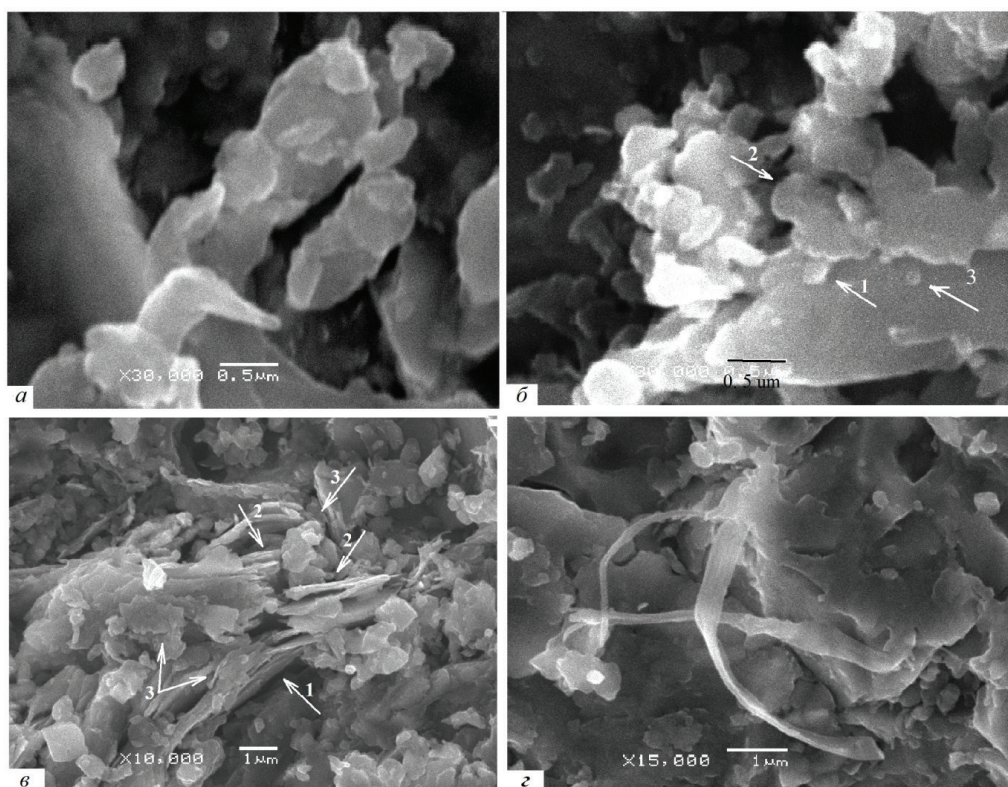


Рис. 3. Дрожжевые и мицелиально-дрожжевые грибы: а – экз. ИГАБМ СО РАН, 87/184, клетки (особи) дрожжей разной формы; б – экз. ИГАБМ СО РАН, 87/185, дрожжевые клетки: 1 – почка; видны и другие почки меньшего размера; 2 – выпячивание оболочки клетки; 3 – спора; в – экз. ИГАБМ СО РАН, 87/186, особи (клетки), паразитирующие на талломах зеленых водорослей: 1 – таллом со стержнем, скрепляющим пластины; 2 – фрагменты талломов, разрезанных дрожжами; 3 – дрожжи на талломах; г – мицелиально-дрожжевой гриб [9, fig. 3a], голотип, ИГАБМ СО РАН, 87/164, *Sakhi solomonovi* Kolosov, 2021

Fig. 3. Yeast and filamentous yeast fungi: a – specimen, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 87/184, yeast cells (individuals) of various shapes; b – specimen, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 87/185, yeast cells: 1 – bud; other smaller kidneys are also visible; 2 – protrusion of the cell membrane; 3 – spore; c – specimen, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 87/186, specimens (cells) parasitizing on green algae thallae: 1 – thallus with a rod that fastens the plates; 2 – fragments of thalli eaten by yeasts; 3 – yeast on thalli; d – filamentous yeast fungus [9, fig. 3a], holotype, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 87/164, *Sakhi solomonovi* Kolosov, 2021

виде микроорганизмы были живыми, их жизнедеятельность вызвала породообразование, в том числе строматолитообразование. Оно еще дополнялось остатками самих микроорганизмов. Зеленые водоросли предпочитают приповерхностные слои воды, так как для нормальной жизнедеятельности и фотосинтеза нуждаются в значительном количестве света [6].

Экосистема докембрийских строматолитов, как и экосистема современных природных объектов, – это система, состоящая из сообщества всех живых организмов (биоценоз), взаимодействующих между собой в определенной природной среде (биотопе). Богатая органикой экосистема изучаемого строматолита (в начале роста, имеющего пластовую

форму) привлекала водные одноклеточные дрожжевые грибы (рис. 3а, б). Современные дрожжи обычно паразитируют на талломах зеленых водорослей. Подобно рецентным водорослям [7] в биомассе бьюкских водорослей венда можно предположить содержание: а) белков примерно 40–60%; б) углеводов, в клеточных покровах родофитов и хлорофитов, представленных в основном полисахаридами, содержание которых достигает 15–60% массы резервных веществ; в) липидов в клетках от 2 до 30% в расчете на сухую биомассу; г) углеводородов, составляющих от 1 до 25% от общего количества липидов. Как известно, рецентные грибы являются хемоорганогетеротрофными организмами, питающимися готовыми органическими веществами осмотротрофным способом, который аналогичен голофитному, но с предварительным внеклеточным расщеплением вещества [8]. Авторы предполагают, что, как и современные дрожжи, вендские (эдиакарские) дрожжевые грибы были хемоорганогетеротрофами, органическое вещество получали от водорослей путем паразитизма. Наблюдаемое в экосистеме бьюкских строматолитов присутствие грибов на талломах водорослей пластинчатой формы – не комменсализм и не мутуализм. Судя по тому, как бьюкские дрожжи разъедали талломы водорослей (рис. 3в), они были паразитами. При этом, как и рецентные грибы, по-видимому, выделяли в приклеточную среду специфические ферменты (внешнее пищеварение), разрушающие предполагаемые крахмал и сахарозу таллома до низкомолекулярных растворимых соединений. Получившиеся кислоты дрожжи впитывали всей своей поверхностью. Некоторые дрожжи для добывания пищи использовали мицелиальные структуры (рис. 3г) и [9, fig. 2b; 5, tabl. I, fig. 1].

Грибы размножались путем образования спор, делением и почкованием. Почкующиеся клетки не всегда расходились, а образовывали цепочки (конидиоспоры). Как и рецентные клетки (у дрожжей клетка представляет собой отдельное тело) дрожжей [10], характеризующиеся ископаемые росли в результате выпячивания их оболочки, образования выростов на любом ее участке (рис. 3а, б). Дрожжи как грибы, имеющие высокую скорость обмена веществ, в благоприятных условиях размножались и увеличивались в размерах очень быстро. Недаром в народе говорят «растет как на дрожжах». В итоге возникли столбчатой формы строматолиты «юрюзания туруктахика». В приливно-отливной зоне их поверхность периодически оказывалась выше уровня воды. То есть условия жизни грибов периодически менялись. В геноме рецентных грибов очень давно, на первых этапах их выхода на сушу, возникли дрожжевая и мицелиальная программы развития [8, 10], регулируемые средой обитания. С изменением условий в рассматриваемой экосистеме строматолитов бьюкского времени отдельные грибы относительно быстро адаптировались к новой среде путем отращивания мицелиальных структур, необходимых для обитания в условиях суши [9]. Необходимость приобретения водными грибами указанных структур трудно объяснить иными причинами. В изменчивой экосистеме столбчатых строматолитов «юрюзания туруктахика» сперва появились дрожжево-мицелиальные / мицелиально-дрожжевые грибы *Sakhi solomonovi* (рис. 3г) [9], а затем мицелиальные грибы *Surninia implicate* [11, tabl. I, II]. По сравнению с первыми, вторые были еще более приспособленными к условиям суши. Они имели сильно разветвленные мицелии, гифы которых удлинялись в поисках органических веществ. Мицелии были покрыты прозрачной слизистой при жизни грибов пленкой, которая защищала их от солнечных лучей и высыхания. Наряду с отпечатками следов минеральных зерен на поверхности дрожжей, пленка указывает на то, что столбчатые строматолиты временами частично обнажались. Доказательством того, что во время отлива грибы оказывались вне водной среды, служит и наличие у основания особей мицелиальных грибов *Surninia implicate* образования [11, tabl. II], мало отличимого от корневой системы, необходимой в условиях суши для прикрепления к субстрату. В отличие от докембрия современная суша населена в основном грибами мицелиальной формы [8, 10], что подтверждает приведенные выше утверждения авторов статьи.

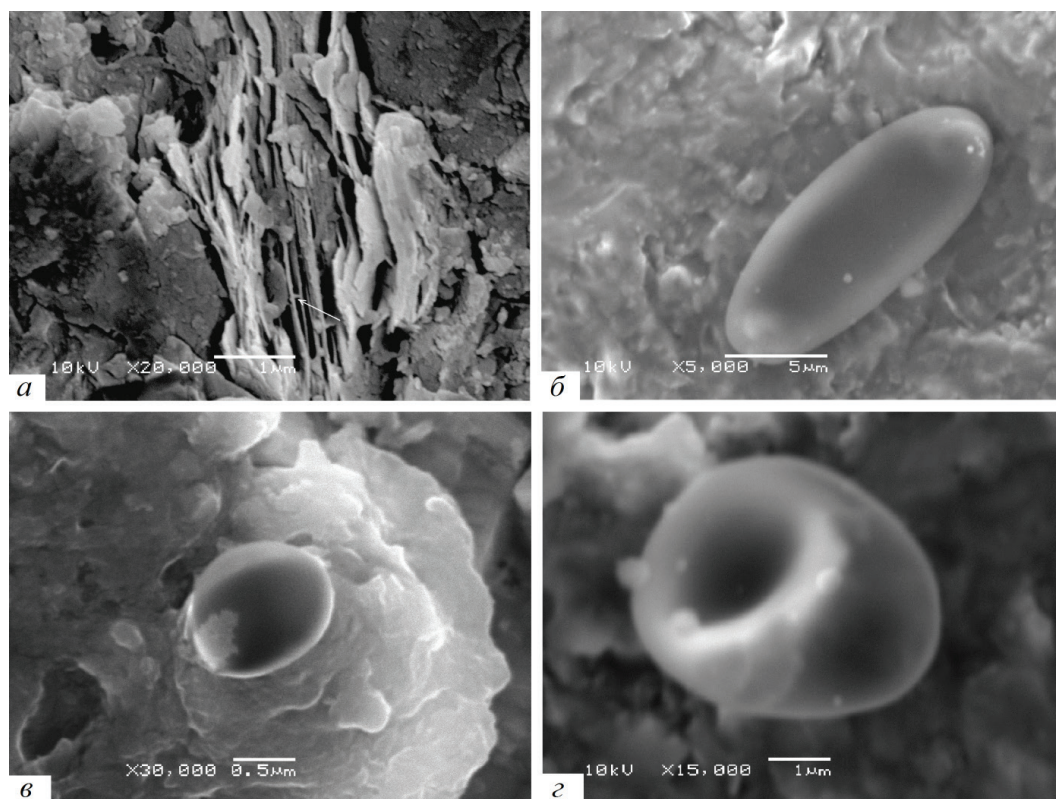


Рис. 4. Зеленые пластинчатые водоросли и цисты: а – зеленые водоросли *Paleoulvaria plate* Kolosov [5], стрелка указывает на стержень, соединяющий пластины; б, г – цисты предположительно беспозвоночных животных; в – поперечное сечение цисты дрожжевых грибов

Fig. 4. Green plate algae and cysts: а – green algae *Paleoulvaria plate* Kolosov [5], the arrow points to the rod connecting the plates; б, d – cysts of presumably invertebrate animals; с – cross-section of a cyst of yeast fungus

Изученный фактический материал указывает на следующие четыре факта развития дрожжевых грибов в экосистеме строматолитов «юрюзания туруктахика» венда (эдиакария):

1) паразитизм на талломах зеленых пластинчатой формы водорослей (рис. 4а). На СЭМ получены снимки микроорганизмов, представленных сильно разветвленными мицелиями с гифами. Они служат доказательством того, что микроорганизмы питались осмотрофно. Как известно, среди эукариот осмотрофно питаются грибы;

2) признаки адаптации к условиям суши путем изменения форм (обликов) обитания в зависимости от среды, о чем сказано выше;

3) появление признаков формирования лишайников. На поверхности микроскопических пластинчатых водорослей в качестве парасимбионтов обитали дрожжевые грибы. У клеток грибов просматриваются структуры, похожие на гаустории, внедряющиеся в талломы водорослей. Это был щадящий (мягкий) паразитизм – парасимбиоз, в результате которого впоследствии, возможно, начали развиваться одни из ранних лишайников;

4) интенсивное размножение посредством почкования клеток, спорообразованием (эндогенными и экзогенными спорами), а также путем образования бластоспор (маленький вырост, образующийся на клетке мицелия дрожжей). Изменение способов размножения упомянутых грибов происходило, по-видимому, в зависимости от изменения условий среды в экосистеме строматолитов.

В экосистеме бюкских строматолитов «юрюзания туруктахики» наряду с особями водорослей и грибов установлено массовое развитие спор дрожжевых [12], служащих для размножения спорообразованием. Спор очень много. Они расположены разрозненно, реже наблюдаются в виде конидиоспор, располагаясь цепочкой. Споры появлялись и созревали в разное время, и потому у них неодинаковые размеры: от наноразмеров до более крупных (диаметр 1,2–2,0 мкм). Преобладают споры диаметром 0,3–1,2 мкм. Созревшие споры превращаются в клетки (2,5–2,8 мкм в диаметре, реже более). При этом многие из них развиваются как криптококки [13], дрожжевые, одиночно почкующиеся клетки. Споры ископаемых дрожжей как и рецентных выполняли главную их функцию – обеспечивали размножение. Они способствовали и перенесению неблагоприятных условий среды обитания. Часть спор состоит из центральной и периферической частей. По округлой форме, строению и размерам среди бюкских спор много криптококков. По-видимому, они являются ранними формами криптококков [9]. Центральная их часть на снимках выглядит как темное пятно. В ископаемом материале невозможно определить содержимое центральной части этих спор-клеток. По аналогии с современными криптококками можно лишь предположить присутствие в ней органелл (митохондрия, вакуоля, гранул запасных питательных веществ и т. д.). Периферическая часть клеток похожа на капсулу криптококков. Имеются споры, которые еще не созрели, не отделились от материнских дрожжевых клеток, но уже имеют признаки ранних криптококков. В каких случаях споры дрожжей развиваются как ранние формы криптококков? Ответа на этот вопрос пока нет.

В экосистеме строматолитов «юрюзания туруктахики» обнаружены цисты (от греч. *kystis* – пузырь) – временная форма существования многих одноклеточных организмов, характеризующаяся наличием плотной защитной оболочки, которая образуется в результате уплотнения содержимого клетки. В ископаемом состоянии оболочки минерализованные (рис. 4б, г). У современных низших грибов известно их образование для перенесения неблагоприятных условий среды (например, при пересыхании водоема). Должно быть, в экосистеме рассматриваемых строматолитов такие условия возникали во время отлива, и особи дрожжевых грибов защищались путем временного перехода в цисты покоя (рис. 4в). Цисты грибов шаровидной формы и разного диаметра (здесь и далее в мкм): от 1,29 до 1,37; от 2,54 до 2,59; в поперечном сечении (диаметр от 1,10 до 1,12) они как бы полые (рис. 4в), видимо, содержимое вышло. Выделяющийся своей формой, похожей на колпачок, имеет более крупные размеры: внешний диаметр от 4,26 до 4,97, внутренний – от 1,45 до 2,02. Кроме этих цист, обнаружены единичные вытянутые и овальные цисты (рис. 4б), они предположительно являются формами сохранения беспозвоночных микроскопических животных. Овальные длиной 33,36, толщиной 16,58.

Заключение

Бюкские дрожжевые грибы в благоприятной, населенной в основном зелеными водорослями и цианобактериями палеоэкосистеме пластовых строматолитов, по-видимому, подобно современным таксонам размножались и росли очень быстро. В результате возникли столбчатой формы строматолиты «юрюзания туруктахики» бюкского времени вендского периода в Березовском прогибе на юго-востоке Сибирской платформы.

Экосистема строматолитов «юрюзания туруктахики» была представлена весьма изменчивыми из-за приливов и отливов условиями сублиторали эпиконтинентального моря. Биота экосистемы характеризовалась разнообразием по систематическому составу: микроскопические зеленые водоросли, бактерии, дрожжи, дрожжево-мицелиальные / мицелиально-дрожжевые и мицелиальные грибы, а также лишайники. В этой экосистеме доминировали дрожжевые грибы, которые паразитировали на талломах водорослей, выработали способы адаптации к условиям суши.

Впервые в мире установлено, что экосистема столбчатой формы строматолитов в позднем докембрии является отличной моделью для выяснения путей освоения суши ранними, первоначально водными микроорганизмами (грибами, лишайниками, беспозвоночными животными). Пример экосистемы строматолитов «юрюзания туруктахики» свидетельствует, что экосистемы образующихся в побережьях морей в приливно-отливной зоне органогенно-седиментационных построек могли быть средой, способствовавшей некоторым микроорганизмам освоить континенты. Полученный результат – вклад в экологию древних грибов и других, изученных в строматолитах «юрюзания туруктахики» микроорганизмов, познание ранних этапов развития жизни, становления биоразнообразия на Земле.

Л и т е р а т у р а

1. Крылов, И. Н. Столбчатые ветвящиеся строматолиты рифейских отложений Южного Урала и их значение для стратиграфии верхнего докембрия / И. Н. Крылов. – Москва : Наука, 1963. – 133 с. (Труды ГИН АН СССР, вып. 69).
2. Опорные разрезы отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия Сибирской платформы / В. В. Хоментовский, В. Ю. Шенфиль, М. С. Якшин, Е. П. Бутаков. – Москва : Наука, 1972. – 356 с.
3. Колосов, П. Н. Стратиграфия верхнего докембрия юга Якутии / П. Н. Колосов. – Новосибирск : Наука, 1975. – 156 с.
4. Колосов, П. Н. Позднедокембрийские микрофоссилии и стратиграфия нефтегазоносных отложений востока Сибирской платформы / П. Н. Колосов. – Якутск : ЯФ Издательство СО РАН, 2003. – 164 с.
5. Kolosov P. N. 2003. Palaeoulvaria Green Algae of the Vendian (Ediacaran) Berezovsky Trough (South of the Siberian Platform). *Paleontological Journal*. V. 57, N 2. Pp. 231-234.
6. Водоросли : Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1989. – 608 с.
7. Кондратьева, Е. Н. Фототрофные микроорганизмы / Е. Н. Кондратьева, И. В. Максимова, В. Д. Самуилов. – Москва : Издательство МГУ, 1989. – 376 с.
8. Ботаника : Курс альгологии и микологии : Учебник / Под редакцией Ю. Т. Дьякова. – Москва : Издательство МГУ, 2007. – 559 с.
9. Kolosov P. N. 2021. Uniquely Preserved Fungi in the Vendian (Ediacaran) of Yakutia. *Paleontological Journal*. V. 55, N 4. Pp. 455–461.
10. Дьяков, Ю. Т. Занимательная микология / Ю. Т. Дьяков. – Москва : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 240 с.
11. Kolosov P. N. New microorganisms from the Vendian (Ediacaran) of the Berezovsky Trough, Southern Siberian platform. 2016. *Paleontological Journal*. V. 50, N 6. Pp. 549–556.
12. Колосов, П. Н. Споры грибов в строматолитах венда (эдиакария) Якутии / П. Н. Колосов // X Чтения памяти А.Н. Криштофовича (23–24 сентября 2019 г., Санкт-Петербург, Ботанический институт им. В.Л. Комарова). – Санкт-Петербург : Ботанический институт, 2019. – С. 33.
13. Kolosov P. N. The ancestors of cryptococci appeared on earth 600 million years ago. 2022. *Open access library journal*. V. 9, N 9125. – URL: <https://doi.org/10.4236/oalib.1109125>.

References

1. Krylov, I. N. (1963) Columnar branching stromatolites of the Riphean deposits of the Southern Urals and their significance for the Upper Precambrian stratigraphy. Moscow: Nauka, p. 133. (in Russ.)
2. V. V. Khomentovsky, V. Yu. Shenfil, M. S. Yakshin, E. P. Butakov (1972). Reference sections of the deposits of the Upper Precambrian and Lower Cambrian of the Siberian Platform. Moscow: Nauka, p. 356. (in Russ.)
3. Kolosov, P. N. (1975) Stratigraphy of the Upper Precambrian in the Southern Yakutia. Novosibirsk: Nauka, p. 156. (in Russ.)

4. Kolosov, P. N. (2003). Late Precambrian microfossils and stratigraphy of oil and gas deposits in the east of the Siberian Platform. Yakutsk: YaF Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, p.164 p. (in Russ.)
5. Kolosov P. N. (2003). Palaeoulvaria Green Algae of the Vendian (Ediacaran) Berezovsky Trough (South of the Siberian Platform). In: Paleontological Journal. V. 57, No. 2, pp. 231-234.
6. S. P. Vasser, N. V. Kondratieva, N. P. Masyuk [et al.] (1989). Algae: A Handbook. Kyiv: Naukova Dumka, 608 p. (in Russ.)
7. E. N. Kondratieva, I. V. Maksimova, V. D. Samuilov (1989). Phototrophic microorganisms. Moscow: MSU Publishing House, 376 p. (in Russ.)
8. Yu. T. Dyakov (2007). Botany: Course of algology and mycology: Textbook. Moscow: MSU Publishing House, 559 p. (in Russ.)
9. Kolosov P. N. (2021). Uniquely Preserved Fungi in the Vendian (Ediacaran) of Yakutia. Paleontological Journal. V. 55, No. 4, pp. 455–461.
10. Dyakov, Yu. T. (2013). Entertaining mycology. Moscow: LIBROKOM Book House, 240 p. (in Russ.)
11. Kolosov P. N. (2016). New microorganisms from the Vendian (Ediacaran) of the Berezovsky Trough, Southern Siberian platform. In: Paleontological Journal. V. 50, No. 6., pp. 549–556.
12. Kolosov, P. N. (2019). Fungal spores in Vendian (Ediacaran) stromatolites of Yakutia. In: X Readings in memory of A.N. Krishtofovich (September 23–24, 2019, St. Petersburg, V.L. Komarov Botanical Institute). St. Petersburg: Botanical Institute, p. 33. (in Russ.)
13. Kolosov P. N. (2022). The ancestors of cryptococci appeared on earth 600 million years ago. [online] Open access library journal. V. 9, N 9125. Available at: <https://doi.org/10.4236/oalib.1109125>.

КОЛОСОВ Петр Николаевич – д. г.-м. н., г. н. с., Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН.

E-mail: petrkolosov36@mail.ru

KOLOSOV Petr Nikolaevich – Dr. S. in Geology-Mineralogy, CSO of the Diamond and Precious Metal Geology Institute of the SB RAS.

ОХЛОПКОВА Ирина Федоровна – студент 5 курса ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

E-mail: irinaohlopkova@mail.ru

OHLOPKOVA Irina Fedorovna – 5th year student of the Faculty of Geology, the M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.