
ПАЛЕОБОТАНИКА, ПАЛИНОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ ДОКЕМБРИЯ И ФАНЕРОЗОЯ

Раннерифейские ассоциации микрофоссилий Предуралья и Сибири и их место в развитии древнейшей микрофлоры

В.Н. Сергеев¹, Н.Г. Воробьева¹, Э.Х. Нолл²

¹Геологический институт РАН, 119017 Москва, Пыжевский пер., 7
sergeev-micro@rambler.ru

²Гарвардский университет, Кембридж, Массачусетс, США (Department of Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA)
aknoll@oeb.harvard.edu

Введение

Древнейшие этапы развития флоры, относящиеся к ранним стадиям развития Земли в докембрии, хорошо представлены в палеонтологической летописи начиная с уровня примерно в 2 млрд л. На раннерифейском этапе эволюции биосферы в отложениях возрастом около 1,5 млрд л. встречаются многочисленные микроостатки как прокариотных цианобактерий, так и эвкариотных, в первую очередь зеленых, микроводорослей. До недавнего времени уровень эволюционного развития раннерифейской микрофлоры недооценивался; все разнообразие найденных морфотипов в основном сводилось к таксонам различных цианобактерий, и многие относительно сложно по-

строенные и крупные формы, найденные в раннемезопротерозойских отложениях, считались микрофоссилиями более молодого возраста, присутствующими в породах, ошибочно датированных ранним рифеем. Только находки последних 10–15 лет подтвердили высокий уровень эволюционной продвинутости докембрийской эвкариотной микрофлоры уже в интервале 1,8–1,4 млрд л. н. В данной статье мы анализируем на новом материале серию раннерифейских микробиот Волго-Уральской области (Башкирского Предуралья) Восточно-Европейской платформы и Анабарского поднятия Сибирской платформы, первоначально ошибочно датированных как позднерифейские.

Микробиота калтасинской свиты Волго-Уральского района

Одной из наиболее интересных и проблематичных ассоциаций микрофоссилий раннерифейского возраста является микробиота калтасинской свиты Башкирского Предуралья, происходящая из серии параметрических скважин (рис. 1): Бедряжская-203 (56,340809° с.ш., 55,475973° в.д.), Азино-Пальниковская-133 (56,523374° с.ш., 53,529541° в.д.) и Восточно-Аскинская-1 (56,0538° с.ш., 59,4210° в.д.). Калтасинская ассоциация микрофоссилий содержит остатки относительно сложно построенных и крупных микроорганизмов, что ранее и стало причиной предположений о ее позднерифейском возрасте [Вейс и др., 2000]. В результате проведенных исследований установлен таксономический состав мик-

робиоты калтасинской свиты из арланской и аршицкой ее подсвит, который был сравнен с составом ассоциаций микрофоссилий из других одновозрастных микробиот Сибири, Китая и Австралии. Удалось установить, что в ее составе доминируют действительно остатки достаточно крупных микроорганизмов, многие из которых представляют собой несомненные эвкариоты ввиду их большого размера и своеобразной морфологии: внутри шагреневых оболочек присутствуют цистоподобные тела, исключающие возможность рассматривать их как пустые колонии прокариот. Здесь встречены *Leiosphaeridia* Eisenack, *Synsphaeridium* Eisenack, *Polytrichoides* Hermann, *Rugosoopsis* Timofeev et Hermann, *Ela-*

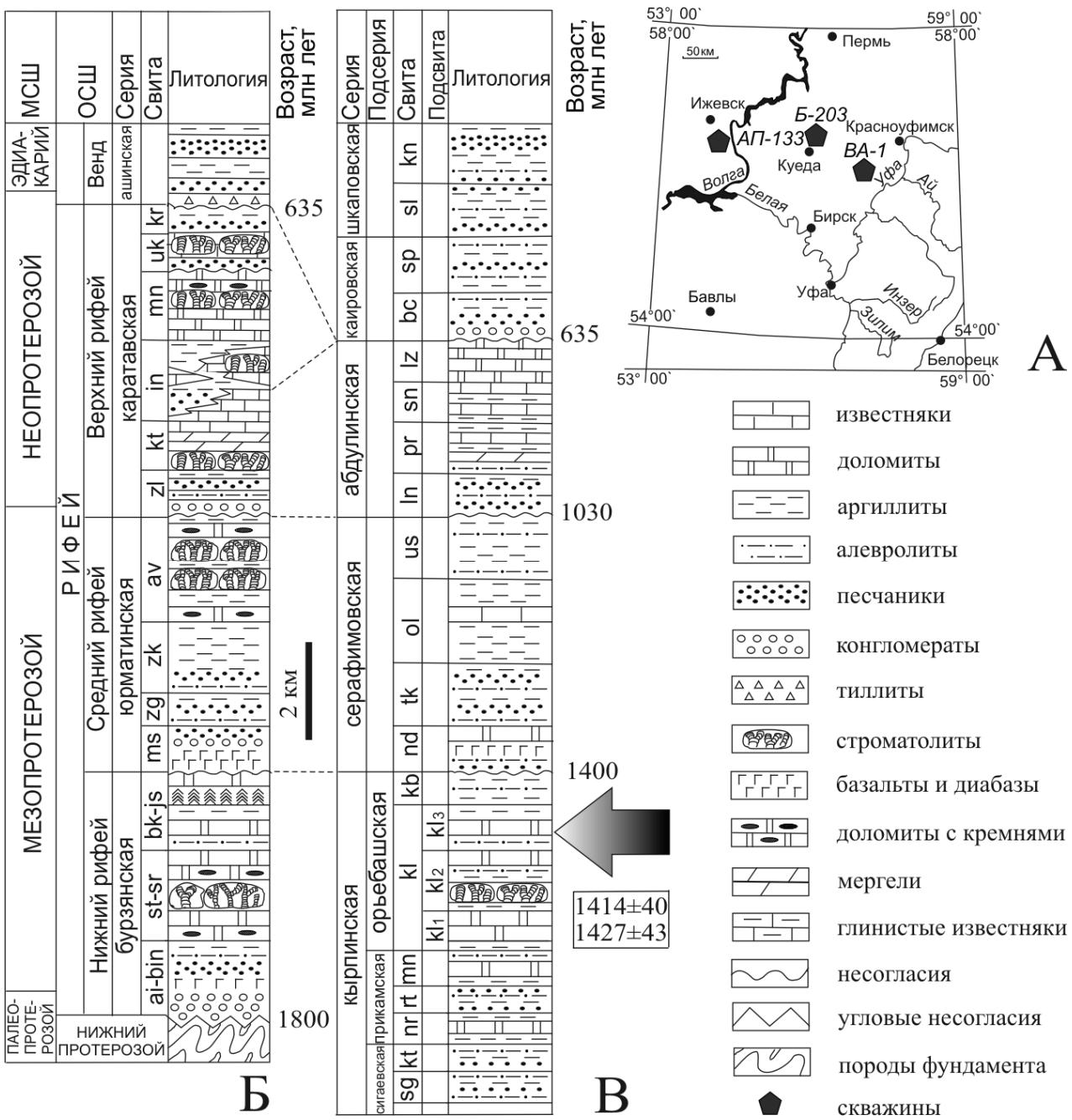


Рис. 1. Положение скважин с калтасинской микробиотой в Башкирском Предуралье (А) и соотношение разреза Башкирского мегантиклинория (Б) с разрезом Волго-Уральской области (В) по данным скважин

Скважины: АП-133 – Азино-Пальниковская-133, ВА-1 – Восточно-Аскинская-1, Б-203 – Бедряжская-203.

Свиты верхнедокембрийских отложений Башкирского мегантиклинория (Западного склона Южного Урала): ai-bin – айская-большенизерская, st-sr – саткинская-суранская, bk-js – бакальская-юшинская, ms – машанская, zg – зигальгинская, zk – зигалгино-комаровская, av – авзянская, zl – зильмердакская, kt – катавская, in – инзерская, mn – миньярская, uk – уксая, kr – криволукская.

Свиты верхнедокембринских отложений Волго-Уральского региона: sg – сигаевская, kt – костинская, nr – норкинская, rt – ротковская, mn – минаевская, kl – калтасинская (подсвиты: kl₁ – саузовская, kl₂ – арланская, kl₃ – аршицкая), kb – кабаковская, nd – надеждинская, tk – тукаевская, ol – ольховская, us – усовская, ln – леонидовская, pr – приютовская, sn – шиханская, lz – леузинская, bc – байкибашевская, sp – старопетровская, sl – салиховская, kn – карлинская.

Положение в разрезе калтасинской микробиоты показано стрелкой; цифры изотопного датирования Re-Os методом [Sperling et al., 2014] приведены в прямоугольнике под стрелкой (по [Кэй и др., 2007; Козлов и др., 2011; Краснобаев и др., 2012; Puchkov et al., 2012, 2013; и др.]).

tera Hermann, (?) *Moyeria* B.Thusu, *Rectia* Jankauskas, *Tortunema* Hermann, *Siphonophycus* Schopf, *Oscillatoriopsis* Schopf и др. (табл. I). Остатки являются формами с достаточно широким стратиграфическим распространением и, по современным представлениям, типичны для раннего рифея, поднимаясь и в поздний рифей, а морфологически сложные индекс-таксоны позднерифейского возраста здесь отсутствуют. Это исключает ранее сделанное А.Ф. Вейсом с соавторами [2000] заключение о позднерифейском возрасте калтасинской свиты, как и ряде других толщ, развитых в авлакогенах Восточно-Европейской платформы.

Выход о раннерифейском возрасте калтасинской свиты Волго-Уральской области, которая является аналогом саткинской свиты нижнего рифея Башкирского мегантиклиниория, подтверждается и новейшими определениями изотопного возраста из ее арланской подсвиты, откуда и извлечено большинство изученных микроостатков. $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ и $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ определения аргиллитов арланской подсвиты показали значения 1414 ± 40 и 1427 ± 43 млн л. [Sperling et al., 2014]. Это согласуется как с составом калтасинской микробиоты, так и с новейшими датировками разреза Башкирского мегантиклиниория, уверенно коррелируемого с разрезом Волго-Уральской области по геологическим и геофизическим данным [Кэй и др., 2007; Козлов и др., 2011; Краснобаев и др., 2012; Puchkov et al., 2012, 2013; и др.].

Достаточно интересной оказалась интерпретация палеоэкологических обстановок обитания калтасинской микробиоты, полученной с применением новейших методик на оборудовании Гарвардского университета. Применение геохимических методов с использованием в первую очередь высокореагентного железа (FeHR), а также изотопов углерода и серы, неожиданно показало наличие аэробных окислительных условий при накоплении относительно глубоководных сланцев арланской подсвиты (отношение FeHR/FeT

$<0,38$). Этот вывод подтверждается данными органической геохимии, и набор биомаркеров, присутствующих в этих породах, также говорит о наличии оксигенных окислительных условий [Sperling et al., 2014].

Результаты этих исследований противоречат общепринятой концепции существования в интервале примерно от 2 до 0,6 млрд л. н. преимущественно анаэробного океана [Canfield, 1998]. Согласно этой модели, появившийся в атмосфере свободный кислород после Великого окислительного события 2,4–2,2 млрд л. н. [Шопф, 2014] в океанах присутствовал только в их самой верхней части, а более глубокие части бассейнов оставались анаэробными, напоминая современное Черное море [Anbar, Knoll, 2002].

До последнего времени эта концепция подтверждалась данными органической и неорганической геохимии, но выявленное наличие в осадках калтасинской свиты свободного кислорода заставляет пересмотреть эту модель и предположить, что в раннем протерозое и рифея распределение кислорода в глубоководных частях бассейна носило мозаичный характер и оксигенные условия латерально были сопряжены с анаэробными. Подобная модель может быть применена и для объяснения эмпирически установленного присутствия в нижнем рифее двух главных типов микробиот (см. [Сергеев, 2006; Сергеев и др., 2010]). В одних микробиотах, приуроченных к анаэробным условиям, доминировали мелкие, по-видимому, прокариотные микроорганизмы (например, микробиоты саткинской, бакальской свиты Урала или омахтинской свиты Учуро-Майского региона), в то время как в кислородных обстановках широким распространением пользовались эвкариотные относительно крупные микроорганизмы, присутствующие в калтасинской, котуйканской, усть-ильинской свитах и некоторых других толщах раннего рифея, которые и стали причиной первоначального вывода А.Ф. Вейса и его коллег [2000, 2001] о позднерифейском возрасте содержащих их отложений.

Микробиоты билляхской серии Анабарского поднятия Сибири

Усть-ильинская и котуйканская свиты билляхской серии Анабарского поднятия Сибири содержат ассоциации разнообразных и относительно крупных остатков микроорганизмов. Изученные микрофоссилии происходят из серии обнажений в бассейнах двух рек (рис. 2): р. Котуйкан – обн. AK-1 ($56,340809^\circ$ с.ш., $55,475973^\circ$ в.д.), AK-12 ($70,6207^\circ$ с.ш., $105,0155^\circ$ в.д.), AK-13 ($70,5886^\circ$ с.ш., $104,9712^\circ$ в.д.), AK-14 ($70,6016^\circ$ с.ш., $104,8987^\circ$ в.д.); р. Фомич – обн. AF-5

($71,6861^\circ$ с.ш., $107,6419^\circ$ в.д.), AF-6 ($71,643455^\circ$ с.ш., $107,7473^\circ$ в.д.), AF-7 ($71,6403^\circ$ с.ш., $107,7645^\circ$ в.д.). Обильные и разнообразные органостенные микрофоссилии из этих толщ отражают уровень эволюционного развития микробиот в начале раннего рифея, предшествующий взрывообразной диверсификации эвкариот в позднем рифее.

Разрез билляхской серии содержит характерные для нижнего рифея строматолиты и окрем-

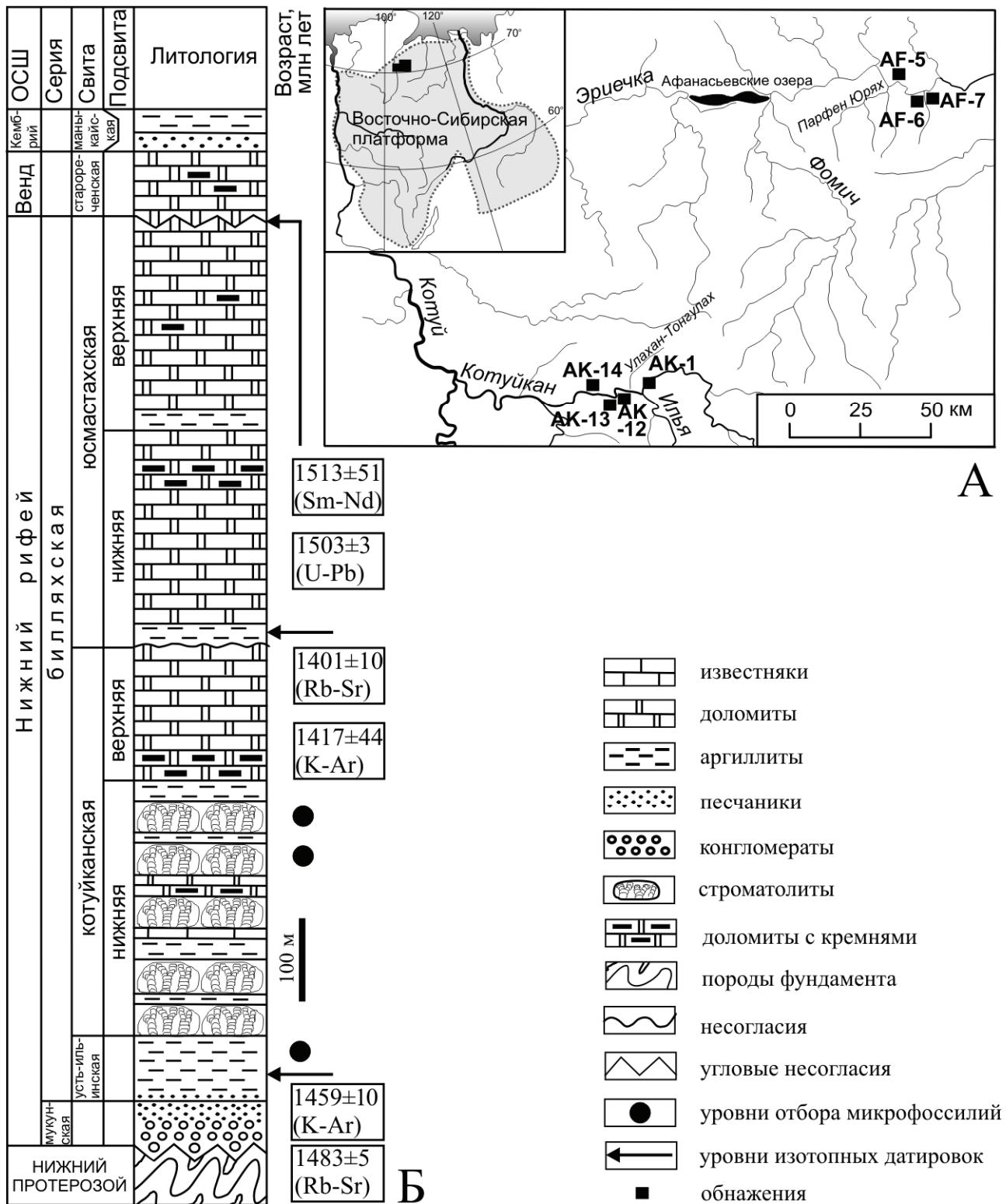


Рис. 2. Положение разрезов с усть-ильинской и котуйканской микробиотами (A) и разрез верхнедокембрийских отложений Западного Прианабарья (Б)

Данные изотопного датирования показаны справа от разреза (по [Горохов и др., 1991; Ernst et al., 2000; Беловский и др., 2006, 2009; Зайцева и др., 2014]).

ненные микрофоссилии [Крылов, 1975; Sergeev et al., 1995], а его изотопный возраст лежит в пределах от 1483 ± 5 до 1513 ± 51 млн л. [Горохов и др., 1991; Ernst et al., 2000; Веселовский и др., 2006, 2009; Зайцева и др., 2014; Vorob'eva et al., 2015]. В отличие от многих одновозрастных микробиот из мелководных фаций, содержащих морфологически простые нитчатые и коккоидные формы, котуйканская и усть-ильинская ассоциации характеризуют открытомуорские шельфовые фации и содержат разнообразные остатки эвкариот: мегасфероморфные акритархи, ветвящиеся нитчатые формы, вероятные улотриковые и хлорококковые зеленые водоросли, а также другие морфологически сложные микроорганизмы неопределенного систематического положения [Сергеев и др., 2010]. Котуйканная и усть-ильинская ассоциации, как и калтасинская являются ключевыми для разработки общей модели биостратиграфического расчленения протерозоя, поскольку содержат таксоны микрофоссилий, которые долгое время были известны только из отложений верхнего рифея [Вейс, Воробьева, 1992; Вейс, Петров, 1994; Вейс и др., 2001].

Несмотря на то, что в обеих свитах присутствуют многочисленные остатки микроорганизмов,

типовидных для позднепротерозойских отложений (например, *Elatera*, *Rugosoopsis*, *Palaeastrum* Butterfield, *Pterospermomorpha* Timofeev, *Eosolena* Hermann и *Navifusa* Combaz, Lange et Pansart), характерные индекс-таксоны верхнего рифея *Trachyhystrichosphaera* Hermann и *Prolatiforma* Mikhailova здесь отсутствуют. В составе микробиот установлены несколько десятков видов нитчатых и коккоидных микрофоссилий; описаны два новых рода и пять новых видов (*Hirudiforma lancetica* Vorob'eva et Sergeev, *H. simmetrica* Vorob'eva et Sergeev, *Lineaforma elongata* Vorob'eva et Sergeev, *Elatera minor* Vorob'eva et Sergeev, *Eosolena minuta* Vorob'eva et Sergeev; табл. II), характерных только для данного стратиграфического уровня, что повышает возможности использования микрофоссилий для детализации стратиграфической шкалы верхнего докембрия [Vorob'eva et al., 2015]. При этом нижнерифейские таксоны акантоморфных акритарх, такие как *Tappania* и *Shuiyousphaeridium*, отсутствуют в открыто-морских отложениях котуйканской и усть-ильинской свит, что говорит о достаточно сложной фациально-экологической модели латерального распределения сообществ микроорганизмов в рифейских бассейнах.

Заключение

Выполненная ревизия таксономического состава усть-ильинской, котуйканской и калтасинской микробиот показывают наличие в раннерифейских ассоциациях микрофоссилий крупных и сложно построенных микроорганизмов, предположительно эвкариотных водорослей и, в частности, хлорофит. Аналогичные или практически идентичные формы присутствуют и в позднерифейских толщах, что привело первоначально к ошибочному отнесению многих раннерифейских микробиот к позднему рифею.

Морфологически достаточно сложные микроорганизмы появились в докембрии значительно раньше, чем это считалось до недавнего времени, что позволяет по-новому взглянуть на эволюцию жизни в докембрии в целом. При этом многие сложно устроенные формы проходят через весь рифей практически без изменений, что заставляет допустить беспрецедентный эволюционный консерватизм не только у прокариотных цианобактерий, но и у низших эвкариот. Подобные предположения высказывались и ранее (например, [Butterfield, 2005; Knoll, 2014; Agić et al., 2015]), а новые данные в целом подтверждают эту гипотезу. Возможно, консерватизм низших эукариот связан с существованием на Земле в течение более миллиарда лет практически неиз-

менных условий со стабильным углеродным циклом, получивших название «скучного миллиарда» («boring billion») [Holland, 2006].

М.Брэйзер и Дж.Линдсай [Brasier, Lindsay, 1998] предложили концепцию эвкариотной эволюции, при которой стабильный углеродный цикл и бедный, но стабильный цикл питания делали устойчивыми взаимоотношения во времени фотосимбионтов, инкорпорированных в эвкариотную клетку. При таком круговороте углерода в жизненном цикле низших эвкариот, по-видимому, доминировала асексуальная стадия [Agić et al., 2015], при которой практически отсутствовали эволюционные изменения. Лишь когда около 1 млрд л. н., вблизи рубежа среднего и позднего рифея (мезо- и неопротерозоя) устойчивый этап развития планеты закончился, начавшиеся изменения условий обитания, зафиксированные прежде всего в цикле углерода, привели к радикальным преобразованиям среди самих организмов, выразившимся во взрывообразной диверсификации низших эвкариот, окрещенной в свое время Г.А. Заварзиным «неопротерозойской революцией» (см. [Сергеев и др., 1996]).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №13-05-00127 и 14-05-00323).

Литература

- Вейс А.Ф., Воробьева Н.Г.* Микрофоссилии рифея и венда Анабарского массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1992. – №1. – С. 114–130.
- Вейс А.Ф., Ларионов Н.Н., Воробьева Н.Г., Ли Сень-Джо.* Микрофоссилии в стратиграфии рифея Южного Урала и Приуралья // Стратигр. Геол. корреляция. – 2000. – Т. 8. – №5. – С. 3–28.
- Вейс А.Ф., Петров П.Ю., Воробьева Н.Г.* Геохронологический и биостратиграфический подходы к реконструкции истории докембрийской биоты: новые находки микрофоссилий в рифее западного склона Анабарского поднятия // Докл. АН. – 2001. – Т. 378. – №4. – С. 511–517.
- Вейс А.Ф., Петров П.Ю.* Главные особенности фациально-экологического распределения микрофоссилий в рифейских бассейнах Сибири // Стратигр. Геол. корреляция. – 1994. – Т. 2. – №5. – С. 97–129.
- Веселовский Р.В., Петров П.Ю., Карпенко С.Ф., Костицин Ю.А., Павлов В.Э.* Новые палеомагнитные и изотопные данные по позднепротерозойскому магматическому комплексу северного склона Анабарского поднятия // Докл. АН. – 2006. – Т. 410. – №6. – С. 775–779.
- Веселовский Р.В., Павлов В.Э., Петров П.Ю.* Новые палеомагнитные данные по Анабарскому поднятию и Учуро-Майскому району и их значение для палеогеографии и геологической корреляции рифея Сибирской платформы // Физика Земли. – 2009. – №7. – С. 3–24.
- Горохов И.М., Семихатов М.А., Друбецкой Е.Р., Ивановская Т.А., Кутявин Э.П., Мельников Н.Н., Турченко Т.Л., Ципурский С.И., Яковлева О.В.* Rb-Sr и K-Ar возраст осадочных геохронометров нижнего рифея Анабарского массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1991. – №7. – С. 17–32.
- Зайцева Т.С., Ивановская Т.А., Горохов И.М. Кузнецова А.Б., Мельников Н.Н.* Минералогокристаллохимические особенности и изотопный возраст рифейских глобуллярных слоистых силикатов глауконит-иллитового ряда в доломитах юстмастахской свиты Анабарского поднятия (Северная Сибирь) // Виртуальные и реальные литологические модели. Материалы X Уральского литологического совещания. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. – С. 52–53.
- Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехородьев А.Г., Бушарина С.В.* Аршиний – новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геол. сб. №9. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. – С. 3–8.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В.* Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) // Литосфера. – 2012. – №4. – С. 127–139.
- Крылов И.Н.* Строматолиты рифея и фанерозоя СССР. – М.: Наука, 1975. – 274 с.
- Кэй Л.С., Крофорд Д.С., Бартли Д.К., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Пучков В.Н.* С- и Sr-изотопная хемостратиграфия как инструмент для уточнения возраста рифейских отложений Камско-Бельского авлакогена Восточно-Европейской платформы // Стратигр. Геол. корреляция. – 2007. – Т. 15. – №1. – С. 15–34.
- Сергеев В.Н.* Окременные микрофоссилии докембрия: природа, классификация и биостратиграфическое значение. – М.: ГЕОС, 2006. – 280 с.
- Сергеев В.Н., Нолл Э.Х., Заварзин Г.А.* Первые три миллиарда лет жизни: от прокариот к эвкариотам // Природа. – 1996. – №6. – С. 54–67.
- Сергеев В.Н., Семихатов М.А., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г.* Основные этапы развития докембрийского органического мира: Сообщение 2. Поздний протерозой // Стратигр. Геол. корреляция. – 2010. – Т. 18. – №6. – С. 3–33.
- Шонф Дж.В.* Геологические доказательства окисленного фотосинтеза и биотические изменения в ответ на «Великую кислородную революцию» 2400–2200 млн лет назад // Биохимия. – 2014. – Т. 70. – №3 – С. 223–238.
- Agić H., Moczydłowska M., Yin Lei-Ming.* Affinity, life cycle, and intracellular complexity of organic-walled microfossils from the Mesoproterozoic of Shanxi, China // J. Paleontology. – 2015. – Vol. 89. – Iss. 1. – P. 28–50.
- Anbar A.D., Knoll A.H.* Proterozoic ocean chemistry and evolution: a bioinorganic bridge? // Science. – 2002. – Vol. 297. – P. 1137–1142.
- Brasier M.D., Lindsay J.F.* A billion years of environmental stability and the emergence of eukaryotes: New data from northern Australia // Geology. – 1998. – Vol. 26. – P. 555–558.
- Butterfield N.J.* Probable Proterozoic fungi // Paleobiology. – 2005. – Vol. 31. – P. 165–182.
- Canfield D.E.* A new model for Proterozoic ocean chemistry // Nature. – 1998. – Vol. 396. – P. 450–453.
- Ernst R.E., Buchan K.L., Hamilton M.A., Okrugin A.V., Tomshin M.D.* Integrated paleomagnetism and U-Pb geochronology of mafic dykes of the Eastern Anabar Shield Region, Siberia: Implications for Mesoproterozoic paleolatitude of Siberia and comparison with Laurentia // J. Geol. – 2000. – Vol. 108. – P. 381–401.
- Holland H.D.* The oxygenation of the atmosphere and oceans // Phil. Trans. Roy. Soc. Biological Sciences. – 2006. – Vol. 361. – P. 903–915.
- Knoll A.H.* Paleobiological Perspectives on Early Eukaryotic Evolution. Additional Perspectives on the Origin and Evolution of Eukaryotes // P.J. Keeling, E.V. Koonin (eds). Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. Vol. 6. – 2014. – P. 1–14.
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Soderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D.* The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // Lithos. – 2013. – Vol. 174. – P. 109–124.
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Sergeeva N.D.* New isotope ages of volcanics in the standard section of the Riphean and Vendian of the Southern Urals: consequences for stratigraphy and tectonics // Materials for the IXth Republican Conference on Geology and Environment. – Ufa: Institute of Geology, 2012. – P. 52–56.
- Sergeev V.N., Knoll A.H., Grotzinger J.P.* Paleobiology of the Mesoproterozoic Billyakh Group, Anabar Uplift, Northern Siberia // J. Paleontol. (Supplement to №1). – 1995. – Mem. 39. – Pt II. – P. 1–37.
- Sperling E.A., Rooney A.D., Hays L., Sergeev V.N., Vorob'eva N.G., Sergeeva N.D., Selby D., Johnston D.T., Knoll A.H.* Redox heterogeneity of subsurface waters in the Mesoproterozoic ocean // Geobiology. – 2014. – Vol. 12. – Iss. 5. – P. 373–386.
- Vorob'eva N.G., Sergeev V.N., Petrov P.Yu.* Kotukan Formation assemblage: A diverse organic-walled microbiota in the Mesoproterozoic Anabar succession, northern Siberia // Precambrian Research. – 2015. – Vol. 256. – P. 201–222.

Объяснения к фототаблицам

Длина одинарной масштабной линейки 10 мкм, двойной – 100 мкм

Таблица I

Микрофоссилии калтасинской свиты

- Фиг. 1. *Leiosphaeridia tenuissima* Eisenack (большой светлый диск) и *L. crassa* (Naumova) Jankauskas (меньший темный диск).
Фиг. 2. *Leiosphaeridia* sp.
Фиг. 3. *Leiosphaeridia ternata* (Timofeev) Mikhailova et Jankauskas.
Фиг. 4. *Leiosphaeridia atava* (Naumova) Jankauskas.
Фиг. 5. *Pterospermopsimorpha pileiformis* Timofeev.
Фиг. 6. *Leiosphaeridia wimanii* (Brotzen) Butterfield.
Фиг. 7. *Eosolena minuta* Vorob'eva et Sergeev.
Фиг. 8. *Rectia* sp.
Фиг. 9. *Tortunema wernadskii* (Schepeteva) Butterfield.
Фиг. 10. *Polytrichoides lineatus* Hermann.
Фиг. 11. *Siphonophycus punctatum* Maithy.
Фиг. 12. *Spiromorpha aff. segmentata* (Prasad et Asher) Yin, Yuan, Meng et Hu.
Фиг. 13. *Pseudodendron anteridium* Butterfield.
Фиг. 14. *Rectia* sp.
Фиг. 15. *Pellicularia tenera* Yankauskas.
Фиг. 16. *Navifusa* sp.
Фиг. 17. Сфероморфные акритархи с проблематичными шипами.

Таблица II

Микрофоссилии нижней подсвиты котуйканской свиты

- Фиг. 1. *Elateria minor* Vorob'eva et Sergeev.
Фиг. 2. *Eosolena minuta* Vorob'eva et Sergeev.
Фиг. 3. *Plicatidium latum* Yankauskas.
Фиг. 4. *Rugosoopsis tenuis* Timofeev et Hermann.
Фиг. 5. *Oscillatoriopsis longa* Timofeev et Hermann.
Фиг. 6. *Hirudiforma simmetrica* Vorob'eva et Sergeev.
Фиг. 7. *Hirudiforma lancetica* Vorob'eva et Sergeev.
Фиг. 8. *Lineiforma elongata* Vorob'eva et Sergeev.
Фиг. 9. *Pterospermopsimorpha pileiformis* Timofeev.
Фиг. 10. *Chuaria circularis* Walcott.
Фиг. 11. *Palaeastrum dyptocranum* Butterfield.
Фиг. 12. Неназванная форма 1 (из [Vorob'eva et al., 2015]).
Фиг. 13. *Pseudodendron anteridium* Butterfield.
Фиг. 14. *Polytrichoides lineatus* Hermann.

