

УДК 56.01;551.72

## АРХЕЙСКИЕ ЭУКАРИОТЫ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД

© 2020 г. А. Ю. Розанов<sup>а</sup>, М. М. Астафьева<sup>а, \*</sup>

<sup>а</sup>Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия

\*e-mail: astafieva@paleo.ru

Поступила в редакцию 22.02.2019 г.

После доработки 13.03.2019 г.

Принята к публикации 13.03.2019 г.

Рассматриваются самые ранние находки вероятных эукариот в древнейших отложениях различных регионов. Предполагается, что первые представители эукариот могли появиться уже в архее.

**Ключевые слова:** архей, ранний протерозой, докембрий, акритархи, прازیнофиты, *Melanocythium*, раковинные амёбы

**DOI:** 10.31857/S0031031X20010109

Долгое время первое появление эукариот в ископаемой летописи Земли относилось к ганфлинтскому времени (1.8–2.0 млрд лет) раннего протерозоя (Schopf, 1983). Этот же возраст имеют органостенные микрофоссилии предположительно грибной природы из черных сланцев печенгского комплекса того же возраста (около 2.0 млрд лет) Кольского п-ва (Белова, Ахмедов, 2006) и отнесенные к прازیнофитам (зеленые водоросли) одноклеточные ископаемые микроорганизмы *Rechengia* из фосфоритов осадочной свиты Пилгуярви (2.04 млрд лет) Кольского п-ва (Розанов, Астафьева, 2008).

Первыми эукариотные микрофоссилии (акритархи и крупные трихомы) (Розанов, Астафьева, 2008) из верхнеархейских отложений Центральной Карелии и Среднего Приднепровья описал Б.В. Тимофеев (1982). Но его работа прошла практически незамеченной, хотя более поздняя монография, вышедшая под редакцией Дж. Шопфа (Schopf, 1983), цитируется очень часто. Мало того, сама возможность нахождения эукариотных форм в архее до сих пор у многих вызывает большие сомнения. Однако в последнее время появились новые данные, подтверждающие выводы Тимофеева о возможном появлении эукариот более 3.0 млрд лет назад.

Еще в 2010 г. в среднеархейских сланцах и алевролитах серии Мудис (Moodies) зеленокаменного пояса Барбертон Южной Африки (3.2 млрд лет) были обнаружены крупные (до 300 мкм в диаметре) округлые углеродистые ископаемые микроорганизмы (Oehler et al., 2017). На основании изотопного и химического (рамановская микроспектроскопия) анализов, а также анализа морфологии этих форм авторы предпо-

ложили связь этих микроорганизмов с цианобактериями, невзирая на то, что они намного крупнее всех известных цианобактерий. Однако, исследуя тот же самый материал, Р. Бьюик (Buik, 2010) предложил отнести эти крупные сфероидальные формы к акритархам, т.е., к эукариотам, хотя анализ на геохимию биомаркеров не проводился, и основные признаки эукариот, такие как хорошо орнаментированная поверхность, сложная ультраструктура клеточной стенки, отсутствуют. Но, по мнению Бьюика, не все протисты обладают этими диагностическими признаками, наличие же одного или нескольких таких признаков однозначно свидетельствует, что микрофоссилии являются протистами, но их отсутствие не является основанием для вывода об обратном. Мы придерживаемся того же мнения.

Позднее в архее кратона Пилбара, Австралия (3.0–3.4 млрд лет), были найдены довольно крупные (до 70 × 35 мкм) чечевицеобразные формы с признаками складок смятия и грубой, необычно толстой стенкой (Oehler et al., 2017). Данные изотопного анализа дали возможность предположить, что эти микроорганизмы были, вероятно, автотрофами. Морфология этих форм (вероятное присутствие складок смятия, неоднородное строение клеточной стенки, состоящей из плотных скоплений сетчатого и глобулярного органического вещества) и их размеры дают возможность предположить, что они могли быть эукариотами.

Несколько лет тому назад нами было предпринято изучение древнейших кор выветривания, в том числе архейских предверхнелопийских кор выветривания по вулканитам (гранитам и плагиогранитам) охтинской серии Лехтинской структуры Карелии (оз. Воронье, устье р. Нижняя

Охта) с возрастом 2.8 млрд лет. Обнаруженный комплекс ископаемых микроорганизмов оказался интересным и довольно разнообразным. Среди прочих в этом комплексе была встречена форма (табл. I, фиг. 1; см. вклейку), интерпретация которой вызвала значительные затруднения. Она была опубликована как предположительно эукариотная форма неясного систематического положения (Астафьева и др., 2011, табл. XIII, фиг. 1). Это полуразрушенная удлинненно-овальная микрофоссилия, но, учитывая ее архейское происхождение, можно сказать, что сохранилась она довольно хорошо. Ее размеры: длина ~57 мкм, ширина ~17 мкм. Эта форма имеет довольно сложное внутреннее строение. Вероятно, она была покрыта оболочкой толщиной 2–3 мкм. В том же местонахождении были встречены и другие удлинненно-овальные бутылковидные формы (табл. I, фиг. 2). Они расплющены, длина их порядка 18 мкм, ширина до 3 мкм. Относительно последних микроорганизмов было сделано осторожное предположение, что они могут являться подобием хитинозой (Астафьева и др., 2011, табл. XII, фиг. 2). О некотором сходстве с хитинозойми говорилось и в описании изогнутой бутылковидной формы из предсариолийской коры выветривания оз. Паанаярви (табл. II, фиг. 1; см. вклейку) (Астафьева и др., 2011, табл. XII, фиг. 1).

Ранее при изучении архея Хизоварской зеленокаменной структуры Северной Карелии (2.5 млрд лет) было опубликовано сообщение о бутылковидной форме, покрытой чешуйчатými пластинками и поразительно похожей на раковинных амеб (табл. II, фиг. 2). Однако ее слишком хорошая сохранность вызвала подозрения в более позднем засорении, и от окончательных выводов мы тогда воздержались (Astafieva et al., 2005). Сейчас мы склонны рассматривать эту форму как более позднюю контаминацию.

Надо отметить, что эта “бутылочка” напоминает представителей позднепротерозойского рода *Melanocyrrillium*, занимающего неясное систематическое положение. В зарубежной литературе подобные бутылковидные формы позднего протерозоя долгое время описывались как “vase-shaped microfossils” (VSM). Основное отличие неопротерозойских форм *Melanocyrrillium* от архейских в их большем размере. Ранее высказывалось мнение, что *Melanocyrrillium* следует относить к Chitinozoa (Bloeser et al., 1977). Однако позднее было показано, что *Melanocyrrillium* и хитинозой не имеют родственных отношений (Bloeser, 1985). Этим же автором было высказано предположение, что меланоцириллии представляют стадию цист (или, возможно, какой-то другой тип репродуктивной стадии) некоторых организмов (неопределенных водорослей), причем сам этот организм, вероятно, не обладал возможностью сохраняться в той физической среде, в которой

его “цисты” (*Melanocyrrillium*) сохранялись. *Melanocyrrillium* также относили к спорангиям водорослей (Horodyski, 1987) и к гетеротрофным планктонным протистам, сходным с тинтиннидами (Fairchild et al., 1978). Шопф (Schopf, 1992) предположил, что бутылковидные формы являются цистами раковинных амеб. Однако С. Портер и А. Нолл (Porter et al., 2003) предложили отнести роды *Melanocyrrillium* и *Caraburina* к собственно раковинным амебам. Такая интерпретация укрепляет ту точку зрения, согласно которой диверсификация эукариот уже в среднепротерозойское время была достаточно продвинутой.

В позднепротерозойских отложениях раковинные амебы обильны, их концентрация достигает 4000 экз. на мм<sup>3</sup> (Porter et al., 2003). В исследованных нами породах архея и раннего протерозоя они единичны и крайне редки.

Можно предположить, что обнаруженные нами бутылковидные формы, напоминающие раковинных амеб, одновозрастны с вмещающими их породами, т.е. жили одновременно с осадконакоплением. Данных, опровергающих это, не обнаружено. Следовательно, можно говорить о возможном существовании в позднеархейских морях представителей эукариот.

Таким образом, первое появление эукариот, причем таких высокоорганизованных как раковинные амебы, отодвигается в архей.

Работа выполнена по Программе Президиума РАН № 17 “Эволюция органического мира. Роль и влияние планетарных процессов” (подпрограмма I “Развитие жизненных и биосферных процессов”), поддержана грантом РФФИ № 17-04-00324 и Министерством высшего образования и науки РФ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гентнер А.Р. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / Ред. Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. М.: ПИН РАН, 2011. 172 с.
- Белова М.Ю., Ахмедов А.М. *Petsamomyces* – новый род органостенных микрофоссилий в углеродсодержащих отложениях раннего протерозоя Кольского полуострова // Палеонтол. журн. 2006. № 5. С. 3–12.
- Розанов А.Ю., Астафьева М.М. Празинофиты (зеленые водоросли) из нижнего протерозоя Кольского полуострова // Палеонтол. журн. 2008. № 4. С. 90–93.
- Тимофеев Б.В. Микрофитофоссилии раннего докембрия. Л.: Наука, 1982. 128 с.
- Astafieva M.M., Hoover R.B., Rozanov A.Yu., Vrevskiy A.B. Fossil microorganisms in Archean deposits of Northern Karelia // Proc. SPIE. 2005. V. 5906. P. 5906-1–5906-6.
- Bloeser B. *Melanocyrrillium* a new genus of structurally complex Late Proterozoic microfossils from the Kwaguant formation (Chuar Group), Grand Canyon, Arizona // J. Paleontol. 1985. V. 59. № 5. P. 741–765.

*Bloeser B., Schopf J.W., Horodyski R.J., Breed W.J.* Chitinozoan from the Late Precambrian Chuar Group of the Grand Canyon, Arizona // *Science*. 1977. V. 195. P. 676–679.

*Buik R.* Ancient acritarchs // *Nature*. 2010. V. 463. P. 885–886.

*Fairchild T.R., Barbour A.P., Haralyi N.L.E.* Microfossils in the “Eopaleozoic” Jacadigo Group at Urucum, Mato Grosso, south-west Brazil // *Bol. Inst. Geosci. Univ. São Paulo*. 1978. № 9. P. 74–79.

*Horodyski R.J.* A new occurrence of the vase-shaped fossil *Melanocyrrillium* and new data on this relatively complex Late Precambrian fossil // *Geol. Soc. Amer. Abstr. Programs*. 1987. № 19. 707 p.

*Javaux E.J., Marshall C.P., Bekker A.* Organic-walled microfossils in 3.2-billion-year-old shallow-marine siliciclastic deposits // *Nature*. 2010. V. 463. P. 934–938.

*Oehler D.Z., Walsh M.M., Sugitani K. et al.* Large and robust lenticular microorganisms on the young Earth // *Precamb. Res.* 2017. V. 296. P. 112–119.

*Porter S.M., Meisterfeld R., Kroll A.H.* Vase-shaped microfossils from the Neoproterozoic Chuar Group, Grand Canyon: a classification guided by modern testate amoebae // *J. Paleontol.* 2003. V. 77. № 3. P. 409–429.

*Schopf J.W.* Evolution of the Proterozoic biosphere: benchmarks, tempo, and mode // *The Proterozoic biosphere: a multidisciplinary study* / Eds. Schopf J.W., Klein C. Cambridge: Univ. Press, 1992. P. 585–600.

*Schopf J.W.* (ed.) *Earth’s earliest biosphere: Its origin and evolution*. Princeton: Univ. Press, 1983. 544 p.

### Объяснение к таблице I

Фиг. 1. Удлиненно-овальная форма, длина которой превышает 50 мкм, ширина больше 15 мкм; вероятно, имеется минерализованная оболочка толщиной 2–3 мкм, которая частично разрушена. По всей видимости, эта форма относится к эукариотам, даже можно предположить, что она относится к раковинным амебам. Архейская (лопийская) кора выветривания, оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд лет).

Фиг. 2. Изогнутые расплюснутые удлиненно-овальные бутылковидные формы. Имеется некоторое сходство с хитинозоями и раковинными амебами. Архейская (лопийская) кора выветривания, оз. Воронье, Лехтинская структура, Карелия (~2.8 млрд лет).

### Объяснение к таблице II

Фиг. 1. Изогнутая бутылковидная форма, имеющая отдаленное сходство с хитинозоями. Нижний протерозой, кора выветривания по кислым метавулканитам, оз. Паанаярви, Сев. Карелия (~2.4 млрд лет).

Фиг. 2. Раковинная амeba, очень велика вероятность более позднего засорения. Архейские (лопийские) туфогенно-осадочные породы Хизоваарской зеленокаменной структуры, Сев. Карелия (~2.8 млрд лет).

## Archean Eukaryotes: a New Look

A. Yu. Rozanov, M. M. Astafieva

The earliest finds of probable eukaryotes in the oldest sediments of various regions are considered. It is assumed that the first representatives of eukaryotes could appear already in the Archean.

*Keywords:* Archean, Early Proterozoic, Precambrian, acritarchs, prasinophytes, *Melanocyrrillium*, testate amoebae



