



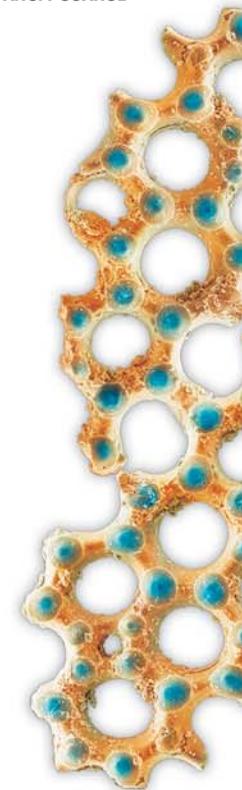
Фанерозой

Протерозой

Архей



# ОТ КЕМБРИЯ И ДО СОТВОРЕНИЯ МИРА



РОЗАНОВ Алексей Юрьевич — член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Палеонтологического института РАН (г. Москва). Специалист в области палеографии и стратиграфии древних толщ, эволюции биосферы и бактериальной палеонтологии

*Чем больше мы узнаем об окружающем нас мире, тем все дальше и дальше в туманное прошлое отодвигается время его возникновения. Ориентирами в зыбких пучинах времени служат палеонтологические находки — скелеты, раковины, отпечатки на камне, «тени» в кристаллах...*

**Н**е прошло и столетия со времени, когда возраст Земли и населяющей ее органической жизни оценивался учеными какими-нибудь сотнями миллионов лет. Однако после появления возможности точного физического определения возраста горных пород стало ясно, что на самом деле наша планета старше. Много старше — ей приблизительно 4,5 миллиарда лет!

Параллельно увеличивался возраст и древнейших находок жизни. Ученые сходятся в мнении, что она зародилась заведомо более 3,5 миллиарда лет назад, но о времени отдельных этапов ее становления продолжаются жаркие дискуссии.

ЗА ОКНОМ — ФАНЕРОЗОЙ...

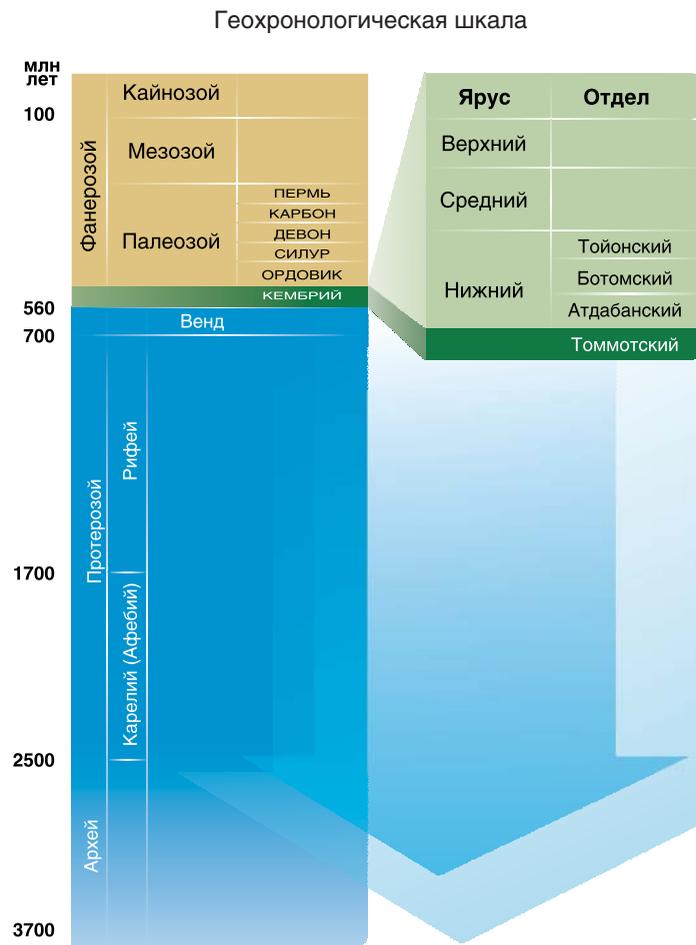
Палеонтология дала немало для понимания ранних периодов существования жизни на Земле. Находки древнейших ископаемых помогают не только реконструировать давно вымершие жизненные формы, но и оценить условия, при которых они существовали, — содержание кислорода, температуру и многое другое.

В эволюционной истории живых существ нашей планеты можно выделить три судьбоносных события, не считая основного — возникновения самой жизни:

- переход от безъядерных одноклеточных организмов (прокариот) к эукариотам (организмам с оформленным клеточным ядром);
- переход от одноклеточных организмов к многоклеточным;
- возникновение жестких опорных конструкций — скелета.

Последняя инновация особенно близка сердцу палеонтолога — и не даром. Именно с этого момента история органического мира изучена наиболее полно благодаря многочисленным находкам остатков скелетных организмов, захороненных в породах. Более того, долгое время человечество черпало знания по эволюции жизни исключительно из изучения ископаемых *фанерозоя*, так было названо время (продолжающееся до наших дней), в котором организмы научились строить скелет.

Однако по мере накопления палеонтологических сведений по самым ранним этапам фанерозоя стало очевидно, что почти все современные типы организмов существовали уже в первом фанерозойском



Еще недавно практически единственными свидетельствами древней жизни были окаменевшие скелетные остатки — кости и раковины. Однако, как выяснилось, организмы «обзавелись» скелетом немногим более 500 млн лет назад. Сама же жизнь оказалась старше — много старше, чем можно было себе вообразить...

периоде — кембрие, нижняя граница которого отстоит от нас на несколько сотен миллионов лет. Естественным образом возникли вопросы: когда появились

предшественники современных организмов, как они выглядели, какие следы оставили в природной летописи? Заглянем же вглубь времен, спускаясь вниз с временной точки, отстоящей от нас на 540 млн лет — с *томмотского века*, с которого и начался кембрийский период.



▲ Ажурные кубки археоциат (*Archaeocyatha*) — одних из самых распространенных организмов в морях раннего кембрия. Сибирь, 550 млн лет. *Палеонтологический институт РАН (Москва)*

▲ Агностиды (*Agnostidae*) были карликами среди трилобитов — удивительных морских организмов с прочным наружным скелетом. Сибирь, 520 млн лет

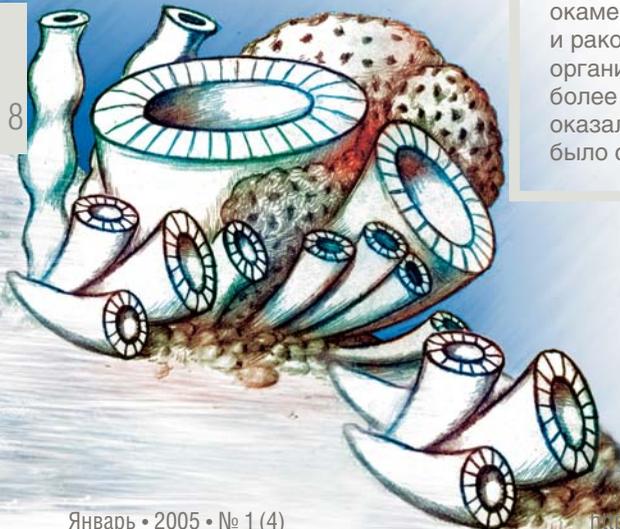
КЕМБРИЙСКИЙ ВЗРЫВ

Научного материала по фауне томмотского века накопилось огромное количество — отложения этого времени насыщены многочисленными и разнообразными остатками организмов, свидетельствующими о самом настоящем эволюционном расцвете, всплеске «таксономического» разнообразия. В первоначальной кембрийской фауне уже встречаются обычные для всего фанерозоя остатки губок, моллюсков, брахиопод. Правда, гораздо больше было других, менее привычных организмов, ставших известными только благодаря ископаемому скелетным фрагментам.

Привлекают внимание необычно малые размеры томмотских ископаемых. Например, раковины взрослых моллюсков этого периода обычно измеряются миллиметрами, что на порядок меньше, чем у их ближайших ордовикских потомков. Хотя иногда попадаются и исключения, например среди археоциат, чье систематическое положение до конца не установлено. Эти вымершие организмы, про которых до сих пор неясно — являлись ли они примитивными губкоподобными животными или относились к самостоятельному типу, — были первыми активными скелетными биогеоморфотелями, предшественниками кораллов. Среди них встречались экземпляры до 1,5 (!) метров высотой. Такие окаменевшие останки — «столбы» — обнаружены в Туве, на реке Шевелиг-Хеме. Но все же в целом раннекембрийская эпоха характеризовалась очень мелкой фауной.

Еще одной интересной особенностью многих кембрийских скелетных окаменелостей является их химический состав. Именно в это время наряду с привычными для нас карбонатными и силикатными скелетами появились фосфатные, чья доля в древнейших отложениях кембрия огромна — до 50–70%. Впрочем, большинство подобных созданий очень быстро исчезло с лица планеты — уже к началу ордовикского периода.

Наряду с богатой животной жизнью в морях кембрия, без сомнения, было много фитопланктона. Свидетельство тому — многочисленные остатки сферических форм размером 10–100 мк, которые добываются из кембрийских пород при растворении их в сильных кислотах. В карбонатных породах встречаются остатки известково-деляющих водорослей в виде разнообразных кустиков размером до нескольких сантиметров. Что касается сине-зеленых водорослей (цианобактерий), то в кембрийских слоях нередко находят типичные для них строматолитовые постройки, хотя и мелких размеров.



ОСТАЛИСЬ ОТ КОЗЛИКА РОЖКИ ДА НОЖКИ

Всего же раннекембрийских ископаемых описаны сотни различных видов, но очень трудно сказать, какое количество систематических таксонов на самом деле «имеет место быть». Это связано с тем, что в кембрийских отложениях встречаются обильные «неопознанные» скелетные остатки. Эти небольшие образования, получившие в обиходе у палеонтологов название «рога и копыта», представляют собой трубочки, рожки, пирамидки, иголочки и т. п.

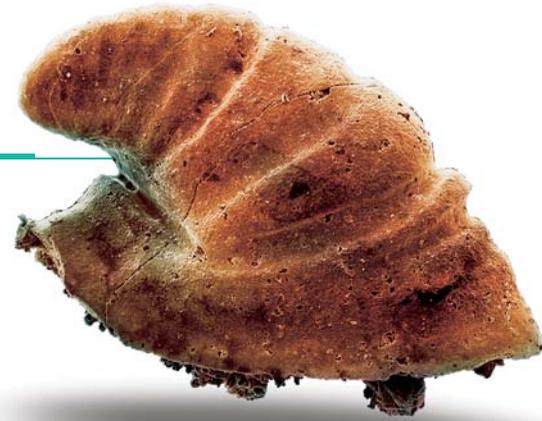
По поводу этих ископаемых существовало много разных мнений. В том числе некоторые исследователи (особенно увлекались этим китайские специалисты) описывали их как целостные организмы. Так, автору, которому вместе со шведским ученым Стефаном Бенгтсоном довелось быть в числе первых палеонтологов, посетивших Поднебесную после культурной революции, в 1978 году показали около 200 видов древнейшей фауны.

Мелкораковинные окаменелости — брюхоногие моллюски — из нижнекембрийских отложений:

- 1 — *Mackinnonia rostrata* (Zhou et Xiao, 1984) из формации Парара (ботомский ярус) п-ова Йорк, Южная Австралия;
- 2 — *Latouchella korobkovi* (Vostokova, 1962) из медвежинской свиты (томмотский ярус) р. Котуй, Сибирская платформа;
- 3 — *Yochelcionella* sp. из верхов нижнего кембрия п-ова Ньюфаундленд, Канада;
- 4 — *Barskovia hemisymmetrica* Golubev, 1976 из медвежинской свиты (томмотский ярус) р. Котуй, Сибирская платформа

300 Mkm

1



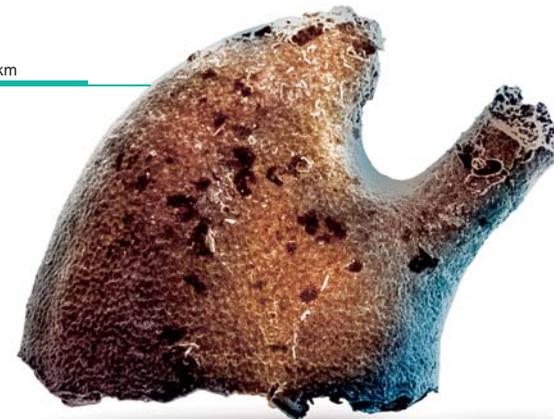
300 Mkm

2



300 Mkm

3



300 Mkm

4



Фото Ю. Демиденко и П. Пархаева

Но на самом деле их оказалось почти в 10 раз меньше! Многие из этих «видов» представляли собой не отдельные раковины, но *склериты*, т. е. скелетизированные части организма. В сложных сочетаниях они слагались в склеритомы, при этом удалось восстановить организмы, в склеритоме которых присутствовало до 10 вариаций склеритов! Другими словами, с первыми представителями скелетной фауны, особенно с теми, у которых нет аналогов в современном живом мире, разобраться далеко не просто.

В целом же кембрийский эволюционный «взрыв» — весьма показательный рубеж в истории биосферы, который ознаменовал этап массового появления организмов с минерализованным скелетом. Уже в ближайшем докембрийском подразделении количество таксонов со скелетной фауной катастрофически уменьшается. Тем не менее ясно, что первые организмы, обладающие подобием скелета, должны были появиться много раньше.

Мелкораковинные окаменелости неясной систематической принадлежности из формации Парара (ботомский ярус) п-ова Йорк, Южная Австралия (Gravestock et al., 2001):

- 1 — покровный склерит томмотиид *Lapworthella fasciculata* Conway Morris et Bengtson, 1990;
- 2 — покровный склерит ханцеллориид *Chancelloria spinulosa* Vassiljeva, 1985

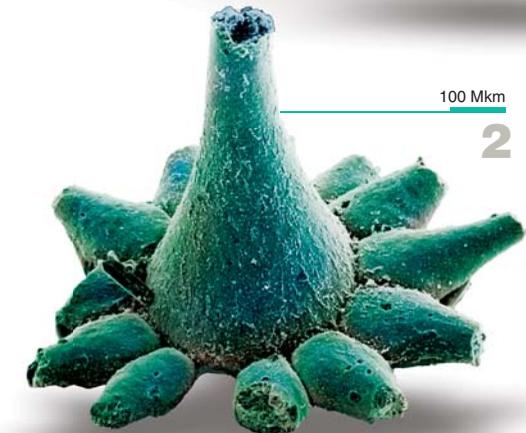
300 Mkm

1



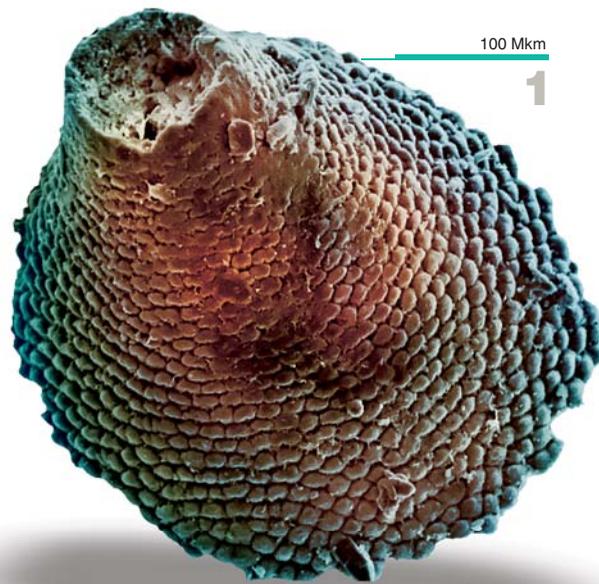
100 Mkm

2



За миллиарды лет своего существования Жизнь пережила три важнейших «научно-технических революции» — ароморфоза: появление оформленного клеточного ядра, возникновение многоклеточности и, наконец, — появление минерализованного скелета

Огромное количество новых находок позволило реконструировать общую картину эволюции биосферы в криптозоэ (эре скрытой жизни) — дофанерозойской эпохе бесскелетных организмов, примерно равной 7/8 истории Земли



Мелкораквинные окаменелости из формации Парара (ботомский ярус) п-ова Йорк, Южная Австралия (Gravestock et al., 2001):

- 1) проблематика *Stoibostrombus crenulatus* Conway Morris et Bengtson, 1990;
- 2) покровный склерит древнейших лобопод *Microduction depressum* Bengtson, 1990;
- 3) покровный склерит палеосколецид *Kaimenella reticulata* Marss, 1988

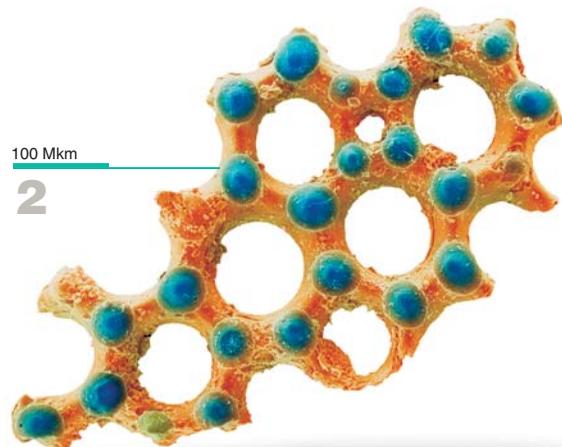


Фото Ю. Демиденко и П. Пархаева

### «...СЛЕДЫ НЕВИДАННЫХ ЗВЕРЕЙ»

Спускаясь еще на одну ступеньку вниз по временной лестнице (550–560 млн лет назад), попадаем в конец докембрийского периода, в *верхний протерозой*, а именно — в *венд*. Долгое время считалось, что в докембрии практически не было высокоорганизованной жизни: породы этого периода считались «немыми», т. е. не содержащими явных ископаемых остатков жизни. Но эта безжизненность оказалась кажущейся.

Было обнаружено огромное разнообразие животных и растительных организмов достаточно высокой организации. По первому открытию в местечке Эдиакара (Южная Австралия) это сообщество организмов стало называться эдиакарской или вендо-эдиакарской фауной. Самое же богатое местонахождение вендских ископаемых обнаружено в России на побережье Белого моря.

Основная отличительная особенность этой биоты заключается в том, что практически вся она была бесскелетной и представлена отпечатками. И хотя многим представителям вендо-эдиакарской фауны свойствен гигантизм (некоторые из этих организмов достигали размеров до 1 метра), состояли они из желеподобного вещества, подобно современным медузам, относящимся к кишечнополостным. Считается, что именно кишечнополостные и составляли большую часть вендской фауны.

С помощью химического препарирования из пород венда получают множество микроскопических организмов и их фрагментов, хорошо сохранившихся в ископаемом состоянии благодаря пектиновой оболочке. Во всех регионах мира, где обнаружены карбонатные породы венда, обязательно присутствуют обильные строматолиты — свидетельство широкого развития цианобактерий. На вендском мелководье произрастали и довольно крупные (до нескольких сантиметров) вендотениды — ленточные неминерализованные водоросли, обладающие тканеподобной организацией.

На границе докембрия и кембрия встречаются и первые примитивные водоросли с обызвествленными чехлами. В поздневендских отложениях обнаружено несколько групп червеобразных организмов (сабеллидитид, анабарит и др.), строящих органическую или минеральную трубку — прообраз будущего скелета.

А на плоскостях напластования пород можно заметить следы присутствия и передвижения каких-то организмов неизвестной морфологии...

Считалось, да и сейчас можно прочесть во многих учебниках, что именно с вендского периода на нашей планете началась эра многоклеточных организмов. Однако есть веские основания считать, что это совершенно не так: хрестоматийность «подорвали» обнаруженные палеонтологические «мины».

### ИСКОПАЕМЫЕ «ПРОБЛЕМЫ»

В более ранних по сравнению с вендом *верхнерифейских* отложениях Китая и Тиманского кряжа (Восточно-Европейская платформа) были найдены трубки со специфической поперечной полосчатостью, состоящие из органического вещества. Эти трубки почти ничем не отличались от уже упомянутых сабеллидитид, известных для венда и нижнего кембрия. Кроме главного — этим остаткам червеобразных созданий, которые большинство исследователей относит к полихетам, 700–750 миллионов лет!

Следующая поразительная находка, о которой часто по незнанию или умышленно умалчивают, — удокания проблематика (*Udocania problematica* Leites), описанная А. М. Лейтесом из удоканских отложений Сибири почти 50 лет тому назад. Внешне удокания представляют собой узкоконические трубки длиной до нескольких сантиметров и обнаруживаются обычно внутри строматолитовых построек. Известные палеонтологи (Р. Ф. Геккер, В. В. Меннер, Б. С. Соколов) признали, что удокания являются либо кишечнополостными организмами, либо кольчатыми червями. Все это было бы довольно обычно, но вот в чем проблема *удоканий проблематики*: возраст! Самые осторожные оценки дают цифру 1,4–1,9 млрд лет.

Но чудеса на этих открытиях не заканчиваются. Ровесницу удоканий грипанию (*Grypania*), известную из верхнерифейских отложений Китая и Северной Америки, большинство исследователей отнесли к многоклеточным водорослям — метафитам. Но затем в Канаде нашли ископаемую грипанию изумительной сохранности с предполагаемым возрастом в 2 миллиарда 100 миллионов лет. Правда, в результате дальнейшего изучения канадская грипаниа несколько «помолодела» — до 1,85 млрд. Тем не менее, по сравнению с этой временной точкой венд — признанный период возникновения многоклеточности — с его несколькими сотнями миллионов лет просто младенец!

Ошеломляющие результаты исследований архейских пород (также проигнорированные многими палеонтологами) опубликовал польский специалист З. Валенчак в начале 80-х годов. С помощью специальных оптических методов он исследовал разнообразные кристаллы в метаморфических древних породах. Выяснилось, что

присутствие органического вещества влияет на само образование кристаллов, создавая специфические «тени» морфологически оформленных биологических объектов, подчеркнутые дефектами кристаллической решетки. Некоторые обнаруженные таким образом организмы из амфиболитов фундамента Восточно-Европейской платформы чрезвычайно напоминают цианобактерии, другие — грибы. Если это окажется правдой, мы будем вынуждены смириться с существованием многоклеточных эукариот уже в *архее* — 2,2–2,5 млрд лет тому назад!

Отпечаток мягкотелой инкрыловии (*Inkrylovia lata* Fedonkin) из вендских отложений. Беломорье, 560 млн лет. Фото М. Федонкина



Для полноты картины следует упомянуть находку М. А. Федонкиным и Э. Ехелсоном следов, удивительно похожих на колонии кишечнорастных животных, и хранящиеся в Новосибирске образцы следов из *нижнего рифея* (Сибирская платформа), обнаруженных Б. Б. Шишкиным. Последние по своей форме (т. е. — характеру движения) как две капли похожи на следы червеобразных организмов. То есть не просто многоклеточных, но уже высокоорганизованных, обладающих мышцами, с помощью которых они способны активно передвигаться. И датируются эти находки возрастом 1,4 млрд лет!

Но бог с ней, с этой непостижимой многоклеточностью, обратим внимание на последнюю, точнее — первую инновацию жизни, т. е. появление эукариот.

### РОВЕСНИКИ ПЛАНЕТЫ?

С эукариотами тоже не все так просто. Точное время появления ядерных организмов установить очень трудно потому, что первые одноклеточные эукариоты морфологически мало отличались от прокариот, тем более — в ископаемом состоянии. И все-таки вышеперечисленные находки многоклеточных, т. е. заведомо эукариотических организмов почтенного возраста, заставляют с большим сомнением отнести к часто встречаемой цифре в 1,65 млрд лет.

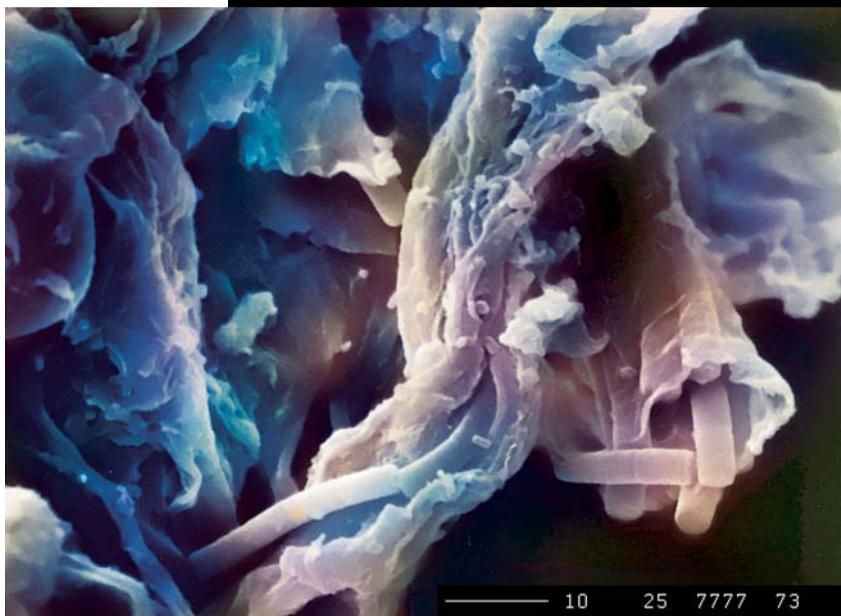
Что касается одноклеточных эукариот, то их следует искать среди акритарх — так были названы сферические планктонные организмы с плотной, хотя и не минерализованной оболочкой, чьи ископаемые остатки обнаруживаются в осадочных отложениях вплоть до архея.

Нужно заметить, что акритархи — группа собирательная, не имеющая точной таксономической принадлежности. Однако более 2,5 млрд лет назад среди них стали появляться относительно крупные клетки, чьи размеры превышали 60 мкм (а практически все известные на сегодня прокариотные организмы существенно мельче). Можно достаточно уверенно утверждать, что в это время в приповерхностных слоях древних водоемов уже обитали эукариотные организмы, родственные современным планктонным водорослям и простейшим.



Удодкании — проблематичные многоклеточные организмы из докембрия Сибири

Современный галофильный цианобактериальный мат (сканирующий электронный микроскоп)



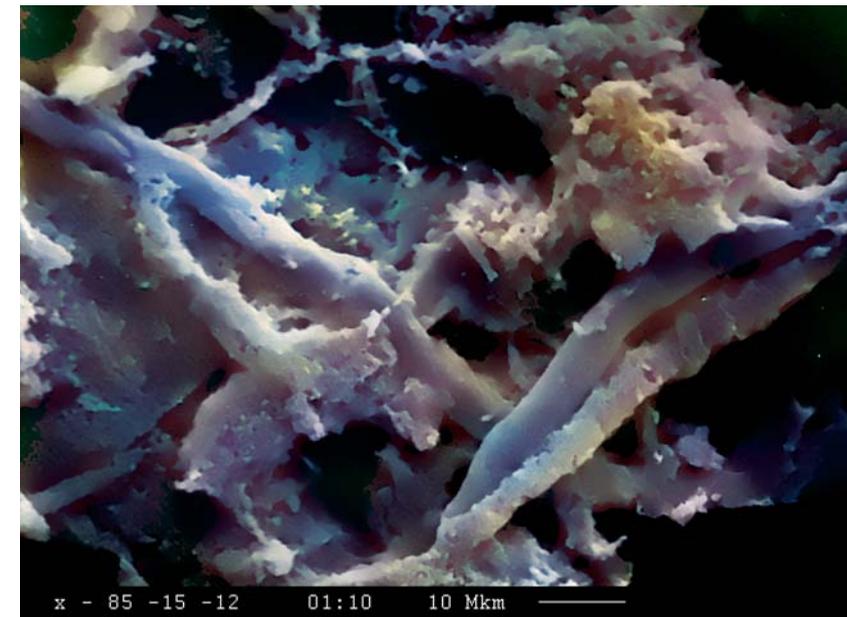
10 25 7777 73

Но и это далеко не все. О существовании эукариот около 2,7 млрд лет тому назад свидетельствуют недавние находки в архейских породах «молекулярных ископаемых» из разряда специфических биомаркеров. Эти вещества, относящиеся к стеролам, в качестве структурных компонентов входят в состав мембран эукариот. Биосинтез стеролов можно рассматривать как одну из отличительных особенностей метаболизма этих организмов. Благодаря такому стремительному «старению» эукариот период их зарождения закономерно приближается к временной точке в почти 3 млрд лет тому назад, от которой до возникновения прокариот уже «рукой подать».

Вот мы и дошли до архейских находок микрофоссилий и строматолитоподобных образований, сделанных У. Шопфом, М. Уолтером, Ф. Весталл и другими палеонтологами. Это — самые древние ископаемые, интерпретируемые как бактерии, даже — как цианобактерии, возраст которых зашкаливает за 3,5 млрд лет. Нужно заметить, что следы бактерий сейчас отыскиваются абсолютно во всех породах, почти в каждом образце! Современными исследованиями установлено, что фоссилизация (окаменение) бактерий занимает всего несколько часов. За это время они не успевают разрушиться, в результате чего сохраняются даже лучше, чем вся остальная фауна. В породах обнаруживаются даже тончайшие ископаемые биопленки толщиной около 10–20 нм, дошедшие до нас в самом наилучшем виде.

Таким образом, новые открытия последовательно отодвигают от нас и время появления первых прокариот, делая их практически ровесниками планеты.

Фоссилизированные нити цианобактерий из кембрийских Хубсугульских фосфоритов



x - 85 -15 -12 01:10 10 Mkm

### ЖИЗНЬ — РОВЕСНИЦА ПЛАНЕТЫ?

Для чего мы сделали такую палеонтологическую ревизию биогеохронологии, другими словами — обсудили столько «баек» из палеонтологической летописи? Не для того, чтобы убедить кого-то в своей правоте, но чтобы пунктирно наметить некоторые спорные моменты современной «биосферологии», обозначить вещи, над которыми нужно работать. Все цифры абсолютного возраста нужны нам лишь для того, чтобы верно оценить временной и иной масштаб явлений в истории органического мира и самой Земли.

Открытия последних лет, сделанные на основе междисциплинарного подхода и новых методов, все дальше в прошлое отодвигают время возникновения жизни на Земле. Планете, помнящей не только тяжелую поступь динозавров, но и легкий шорох червевидных сабеллитидитид...

Находки древнейших ископаемых организмов довольно высокого уровня организации заставляют по-новому взглянуть на такие важнейшие геохимические процессы планетарного характера, как появление на Земле свободного кислорода и смена восстановительной атмосферы на окислительную; глобальные изменения климата, в том числе — периодические оледенения, процессы осадконакопления и т. п.

Приведенные палеонтологические данные, например, недвусмысленно свидетельствуют о достаточно раннем — уже в архее — появлении свободного кислорода, об относительно невысоком (50–60° С) уровне приповерхностных температур на древней Земле. Требуют пересмотра и общепринятые взгляды на то, каким способом в природе образуются многие обычные минералы. Например, сейчас установлено, что образование кварца, полевого шпата, глинистых и других минералов осадочных пород (всего более 100!) может происходить с участием бактерий. Наконец, появились сенсационные данные, что и минерал форстерит (присутствующий в метаморфических изверженных породах) может образовываться

### СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА: ИСКОПАЕМЫЕ МИКРОБИОТЫ ПОЗДНЕГО ДОКЕМБРИЯ

в результате деятельности бактерий в условиях нормальных температур и давления. В случае подтверждения данных, это — очередная «бомба», заложенная под традиционные взгляды на историю Земли и ее органического мира.

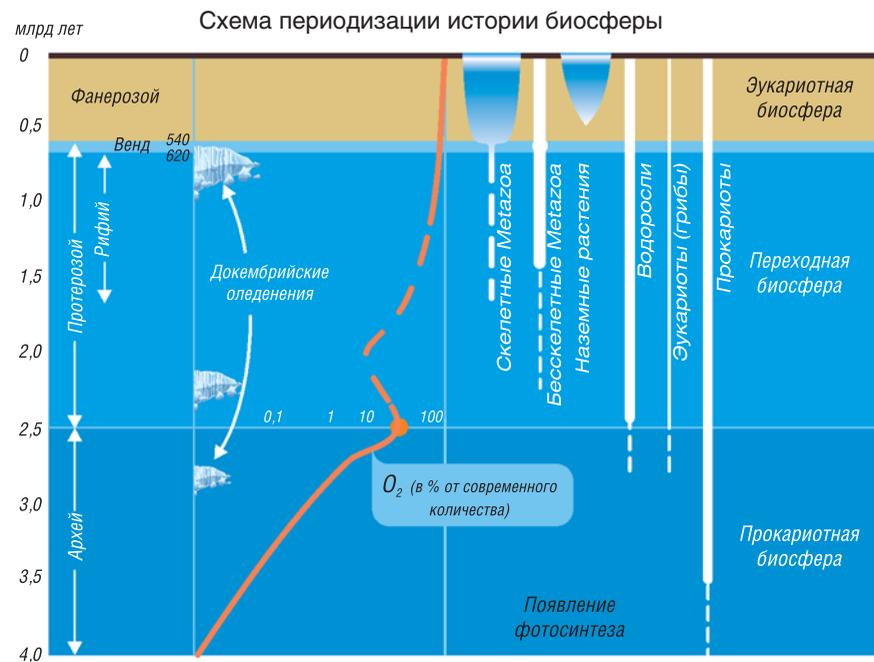
И на этом давайте поставим точку. Даже если у читателя и остались некоторые сомнения и неуверенность относительно точных дат возникновения на Земле сложной жизни и жизни вообще. Ведь, во-первых, в этом он не отличается от многих специалистов. А главное — занятия проблемами происхождения и эволюции жизни подарили нам уникальную возможность выйти за рамки эфемерного человеческого существования и, с легкостью оперируя миллионами и миллиардами лет, пусть на мгновения, но почувствовать себя бессмертными. Как сама Жизнь...

Сибирская платформа относится к древним стабильным участкам земной коры, возникшим еще в докембрии. Уникальность Сибирской платформы состоит в том, что именно здесь практически по всему разрезу в позднедокембрийских отложениях обнаружены богатые микробиоты, характеризующие период от нижнего рифея до венда.

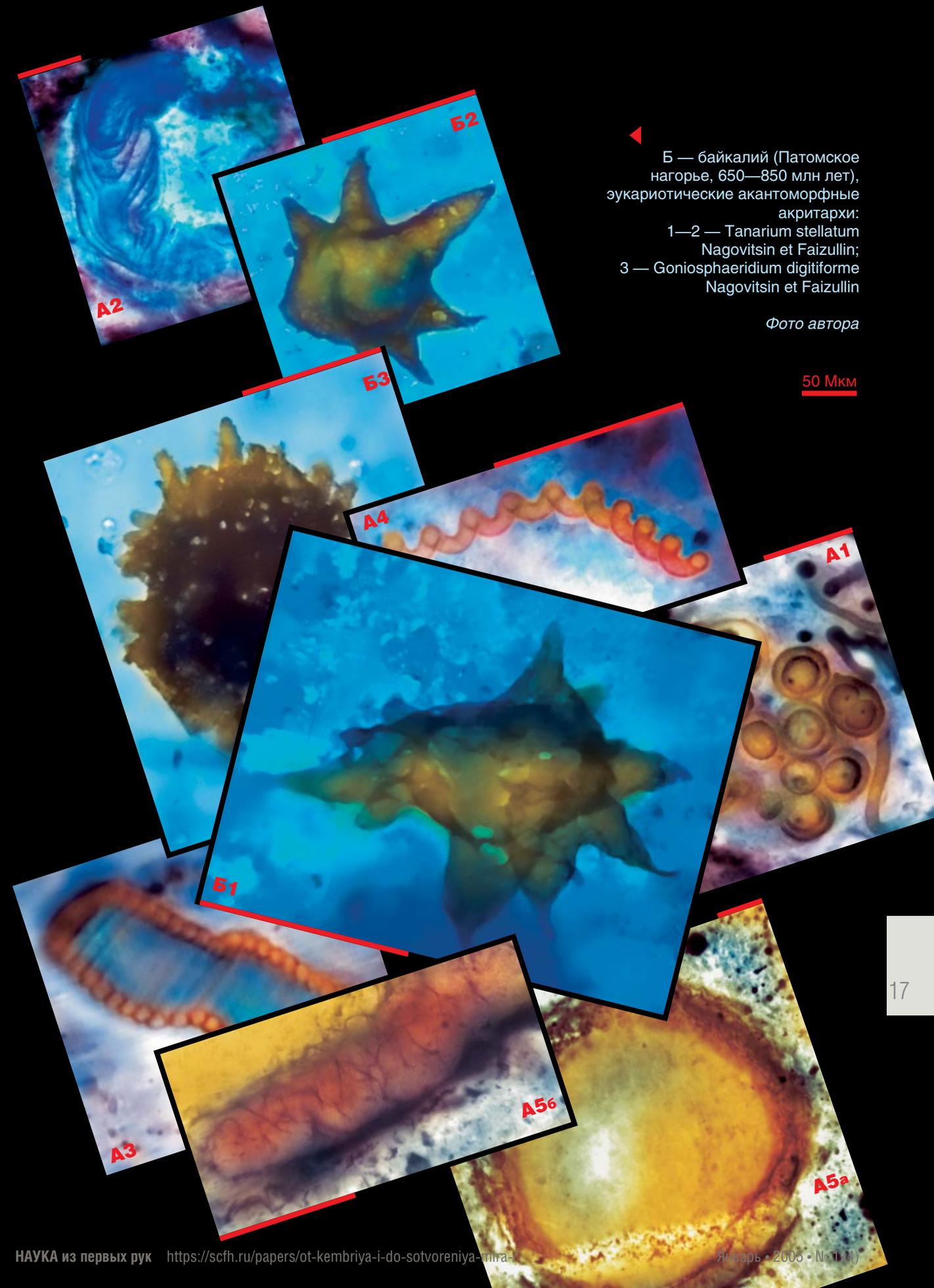
Судя по этим находкам, темпы эволюции прокариотических организмов достигли максимума уже в раннем рифее (1650—1350 млн лет), в конце которого появились основные крупные таксономические единицы. Некоторые рода и единичные семейства возникли в более позднее время — в среднем и позднем рифее (1350—1150 и 1150—650 млн лет соответственно).

Первые морфологически выраженные эукариоты в сибирских микробиотах появляются в конце раннего рифея. Однако значительное увеличение их морфологического разнообразия произошло значительно позже — примерно 1150 миллионов лет назад. В добайкальском верхнем рифее (до 850 млн лет) темпы эволюции эукариот были еще относительно невысоки, и лишь в байкалии-венде можно наблюдать многократное увеличение их таксономического разнообразия.

к. г.-м. н. К. Е. Наговицин  
Институт геологии нефти и газа  
СО РАН (Новосибирск)



Редакция благодарит к. б. н. П. Ю. Пархаева (ГИН РАН, г. Москва), к. г.-м. н. А. А. Постникова и к. г.-м. н. К. Е. Наговицина (ИГНГ СО РАН, г. Новосибирск) за помощь в подготовке публикации



Б — байкалий (Патомское нагорье, 650—850 млн лет), эукариотические акантоморфные акритархи:  
1—2 — *Tanarium stellatum* Nagovitsin et Faizullin;  
3 — *Goniosphaeridium digitiforme* Nagovitsin et Faizullin

Фото автора

50 Мкм

Микрофоссилии:  
А — верхний рифей (Енисейский краж, 850—1000 млн лет):  
1 — глеокапсовые цианобактерии *Eogloeocapsa praedicta* Golovenos et Belova;  
2 — стебельковые дермокарповые цианобактерии *Polybessurus bipartitus* Fairchild et al.;  
3 — нитчатые цианобактерии *Obruchevella blandita* Schenfil;  
4 — нитчатые цианобактерии *Obruchevella uralense* Jankauskas;  
5 — эукариотические акритархи *Cymatiosphaeroides filiformis* Nagovitsin,  
а — общий вид,  
b — увеличенный фрагмент