



Н. Л. ДОБРЕЦОВ

Когда мы говорим — «ранние», обычно подразумеваем — давние, ушедшие, забытые... Как наши детские годы. Но в приложении к эволюции это слово означает нечто иное. Если считать, что «детство» биосферы закончилось с появлением многоклеточных организмов, то произошло это сравнительно недавно — по эволюционным меркам, а «свидетели» и «участники» этого события благополучно здравствуют и поныне. Но почему-то из всех живых ископаемых «священный трепет» в нас вызывает какая-нибудь кистеперая рыба, но отнюдь не тонкие нити той же сине-зеленой спирулины. Хотя эти скромные цианобактерии не изменили себе за миллиарды лет юности планеты...

ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич — действительный член РАН, доктор геолого-минералогических наук, председатель Сибирского отделения РАН, вице-президент РАН, генеральный директор Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН. Лауреат Ленинской (1976 г.) и Государственной (1997 г.) премий. Координатор программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы». Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»

Общие проблемы, связанные с возникновением и функционированием первичной биоты на Земле, так или иначе приводят специалистов разного профиля к вопросам микробиологии — науки, изучающей первых обитателей планеты, оставивших следы в палеонтологической летописи.

Нам, сложноорганизованным, высокоразвитым многоклеточным существам, следует признать, что население планеты испокон веку состоит в основном из бактерий, а остальные организмы — лишь позднее к нему «добавление».

При этом, как считает выдающийся микробиолог Г. А. Заварзин, эволюции, в нашем понимании, в бактериальном мире либо вообще не было, либо она шла совсем по другим принципам, нежели у многоклеточных растений и животных (Заварзин, 1999; 2001; 2003).

Тезис хотя и спорный, но наиболее интригующий.

ДОЛГАЯ ЮНОСТЬ ПЛАНЕТЫ

О РАННИХ СТАДИЯХ ЗАРОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ЖИЗНИ



Михаэль Вольгемут. Шесть дней творения
Паоло Уччелло. Создание животных и Создание Адама

Живой углерод планеты

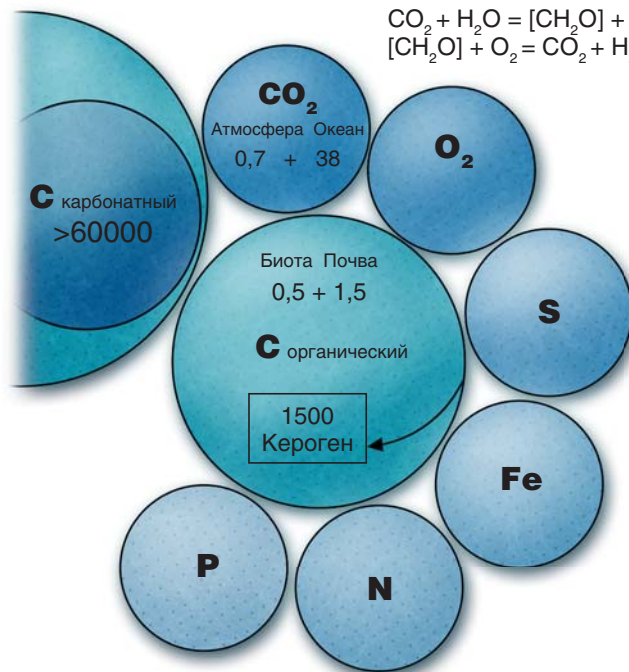
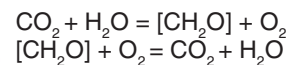
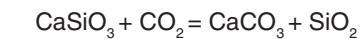
В нашем мире микробная биомасса составляет, по разным оценкам, от половины до 90% всей биомассы Земли. Она включает не только бактерии на суше, в почвах, планктон и другие бактерии океана, симбиотические бактерии в эукариотических организмах (например, в кишечнике травоядных), но и прокариотическую биоту экстремальных местообитаний, таких как горячие источники — гидротермы, ядерные реакторы и т.п. Не менее трети всей массы живых организмов ($0,15 \cdot 10^{18}$ г органического углерода из $0,5 \cdot 10^{18}$ г) составляет микробная биомасса океана, сосредоточенная в основном в верхних 200 метрах и около дна (Заварзин, 2003; Виноградов, 2004). На суше же биомасса микроорганизмов, вероятно, сравнима с биомассой растений.

Если мы рассмотрим баланс кислорода, углерода и других химических элементов в сопряженных биогеохимических планетарных циклах, то заметим, что органический углерод находится на Земле в основном не в живых организмах, а в *керогене*. Так называется ископаемое органическое вещество, преобразуемое в дальнейшем либо в нефть, либо в битум, либо в уголь. Иными словами, это — «мертвая» биомасса, выведенная из биосферного круговорота веществ. Масса керогена на три порядка больше, чем «живая» биомасса планеты, поскольку значительную часть органики биосфера безвозвратно теряет (Заварзин, 2003).

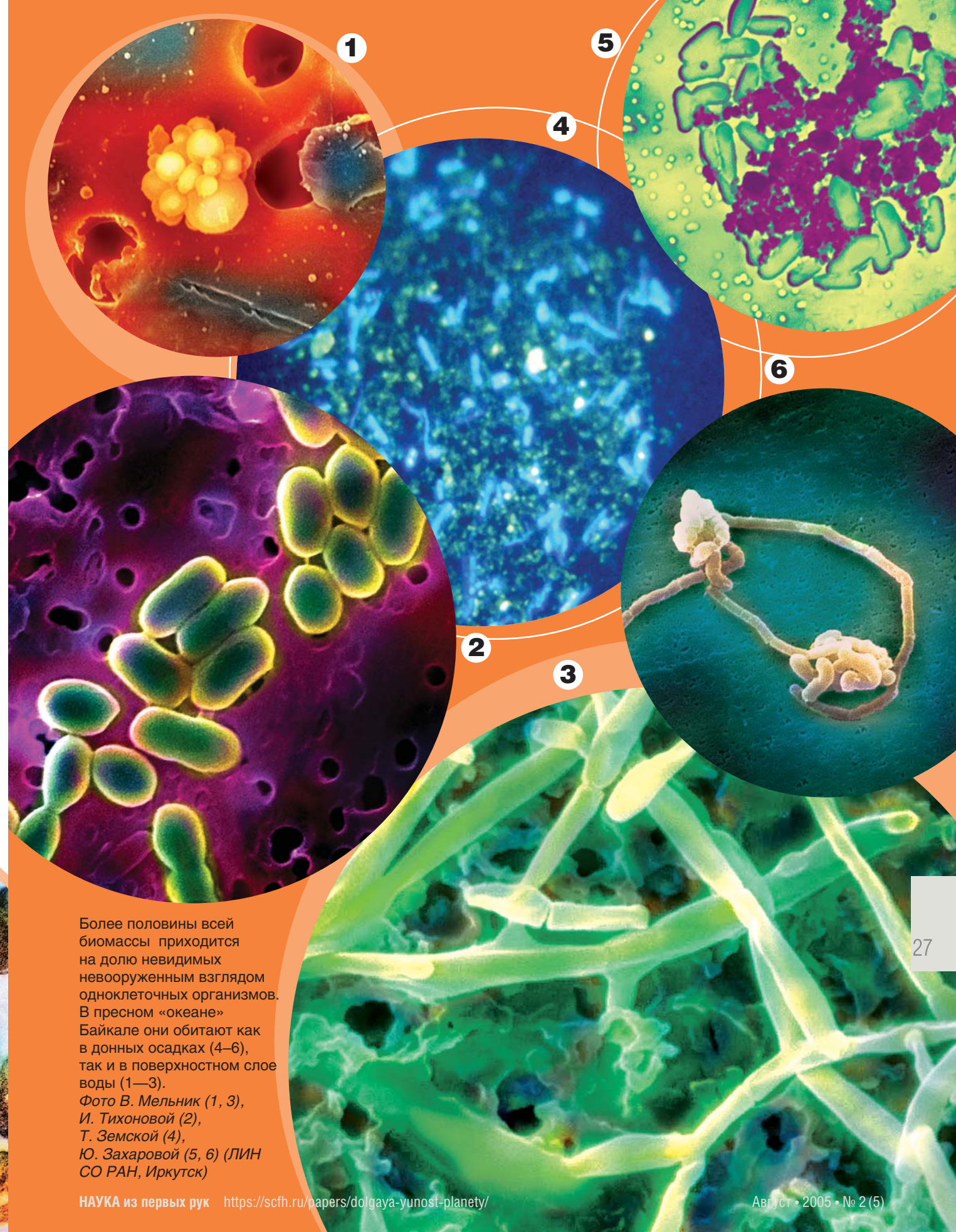
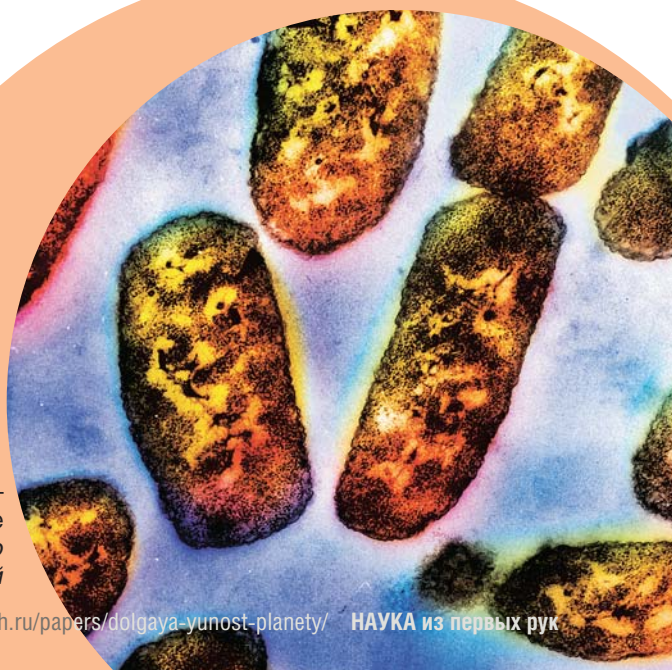
В целом же основная масса углерода на Земле — неорганическая и находится в карбонатах (CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и др.), поэтому цикл углерода прежде всего — карбонатный. Биохимический же цикл составляет лишь ничтожную часть общего цикла углерода: объемы вещества, участвующие в карбонатном цикле и собственно в биохимическом цикле, различаются на пять порядков (Добрецов, Коваленко, 2001). Однако живые организмы вносят в эти цифры существенные «коррективы»: по сравнению с процессами осадконакопления и выветривания биогеохимический цикл очень быстрый (Ленин, 2004), в результате чего суммарные величины количества углерода, «прокручивающегося» за год в циклах, оказываются значительно ближе друг к другу.

Какие же микроскопические организмы «запустили» более 3,5 млрд лет тому назад эти геохимические процессы? Прежде чем погрузиться в реальный мир бактерий, вернемся немного назад — к самому началу Жизни на нашей планете.

Типичные прокариоты — водородокисляющие бактерии. Фото Е. Киселевой



Сопряжение геохимического карбонатного цикла и биогеохимических циклов (по: Заварзин, 2001, с изменениями). Все величины даны в 10^{18} г



Более половины всей биомассы приходится на долю невидимых невооруженным взглядом одноклеточных организмов. В пресном «океане» Байкале они обитают как в донных осадках (4–6), так и в поверхностном слое воды (1–3). Фото В. Мельник (1, 3), И. Тихоновой (2), Т. Земской (4), Ю. Захаровой (5, 6) (ЛИН СО РАН, Иркутск)

Все началось с РНК

Первая стадия — 3,8 млрд лет назад или ранее — началась с появления «самостоятельных» рибонуклеиновых кислот (РНК) (Gilbert, 1986; Joyce, 2002; Spirin, 2002).

В экспериментах доказано, что короткие цепочки этих полимерных макромолекул (олигонуклеотиды) могли образовываться прямо на монтмориллоните, одном из наиболее распространенных глинистых минералов, из которых состояли первичные глины на поверхности юной Земли (Ferris, Ertem, 1993; Ertem, 2004).

Затем олигонуклеотиды могли удлиняться (Morozov et al., 1993; Chetverin, 1999), становясь основой, на которой синтезировались простейшие белки (Zhang, Cech, 1997; Lee et al., 2000). На длинных полинуклеотидах могли синтезироваться и белковые ферменты (Trifonov, 2000). Белки, похоже, возникли еще до появления живой клетки, плаывая в первичном бульоне или существуя в пленочной среде на глинах вместе с первичной РНК.

В Институте белка РАН была экспериментально показана способность РНК формировать молекулярные колонии на гелях или других твердых средах (Chetverin, Chetverina, 1993), — подобно бактериям, размножаться в соответствующих условиях. Эти колонии, не отгороженные от внешней среды, могут легко обмениваться между собой молекулами — своим генетическим материалом — даже через воздух. Подобные колонии молекул РНК на том же монтмориллоните с пленкой воды на поверхности могли быть первыми эволюционирующими бесклеточными ансамблями.

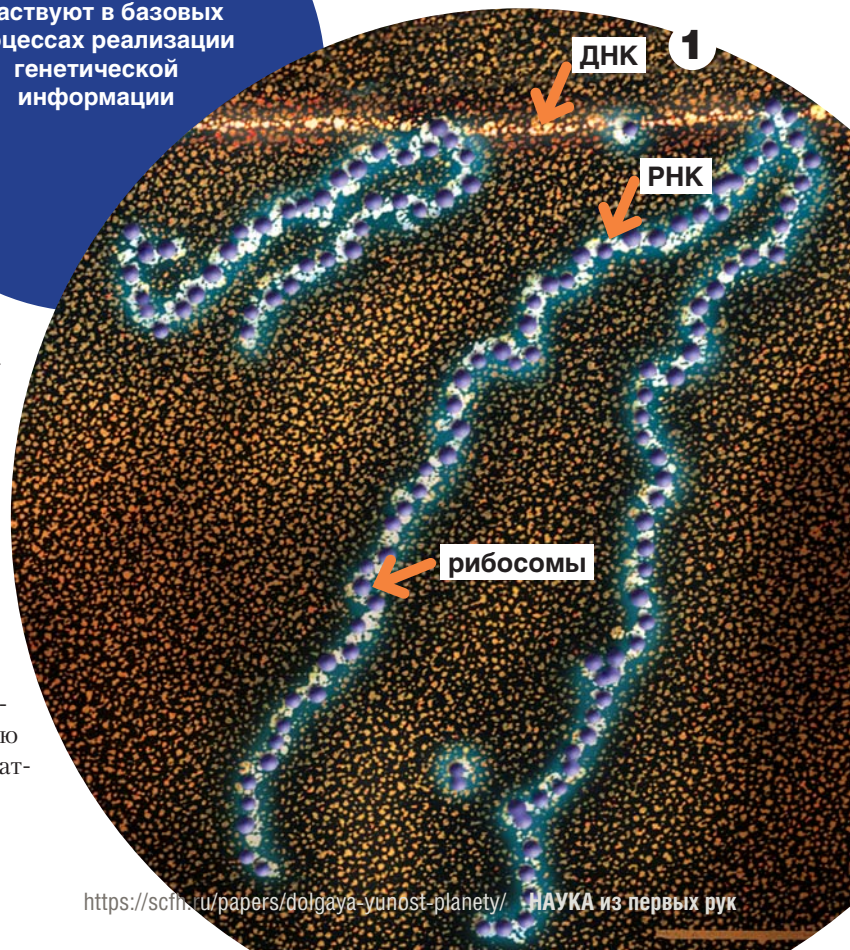
В ансамблях разные молекулы могли выполнять различные функции: обеспечивать воспроизведение молекул, формировать структуры, необходимые для успешного существования (например, для поглощения нужных веществ из окружающей среды). Согласно современным представлениям, все базовые процессы в живой клетке могут идти (другое дело, с какой скоростью!) лишь при помощи имеющихся в ней РНК разных типов. Вероятно, путем отбора из пула случайных молекул РНК во внеклеточной среде могли появляться молекулы со спектром ферментативных активностей, полностью замыкавшим цикл самовоспроизведения РНК-матрицы (Unrau, Bartel, 1998; Johnston, et al., 2001).



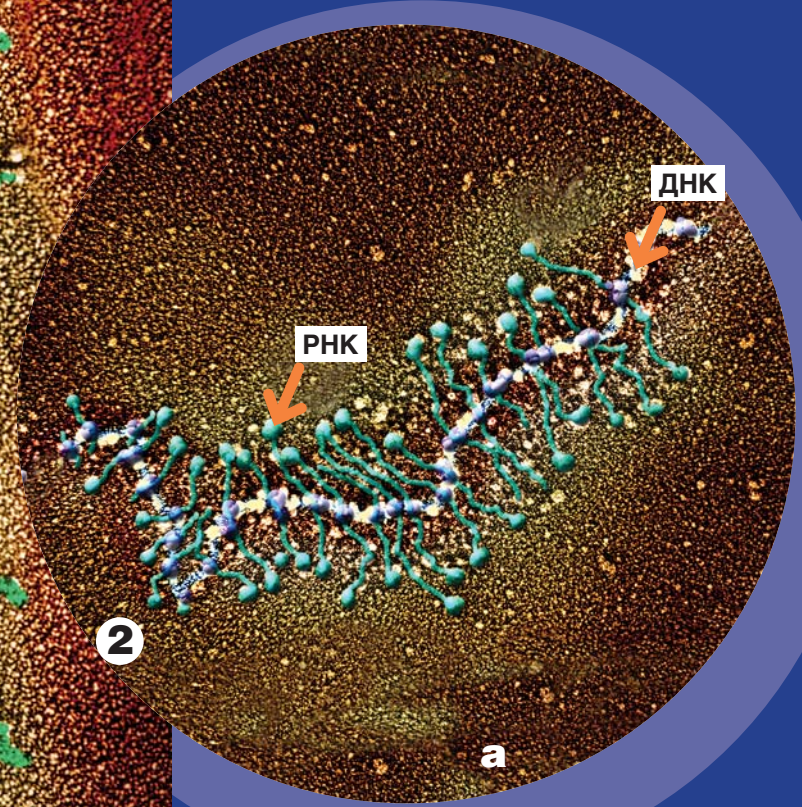
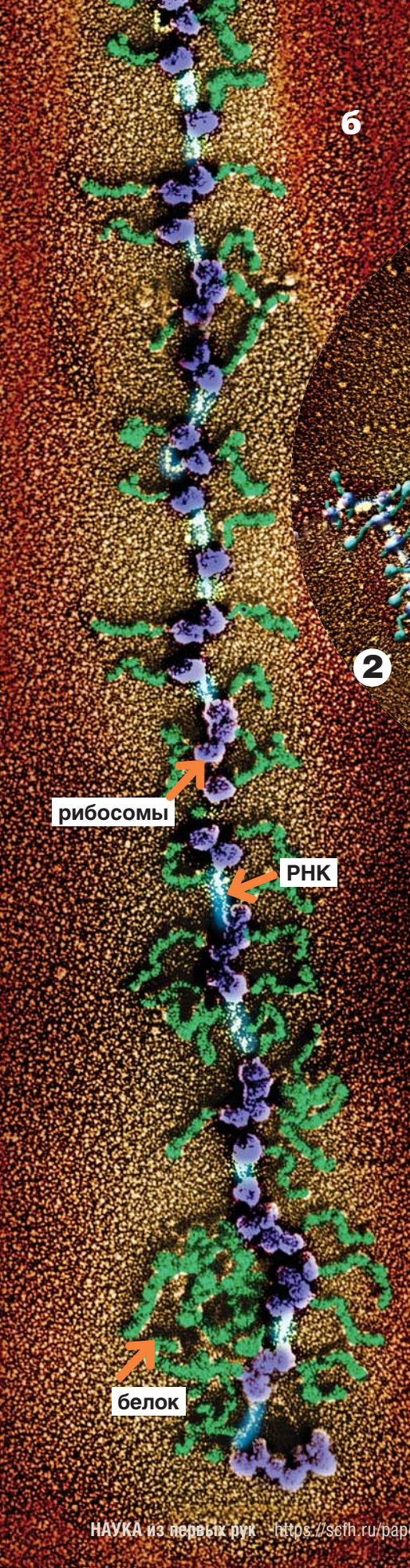
Знаменитая триада «ДНК – РНК – белок» сформировалась только на следующем этапе эволюции, — вероятно, около 3,6 млрд лет назад (Joyce, 2002). И именно здесь возникает сложнейший вопрос о возникновении самой клетки, конкретнее — клеточной оболочки, мембраны, которая и обособила клетку как таковую.

Где и как происходили эти переходы? Конечно, зарождение жизни могло произойти еще в космосе (Гольданский, Кузьмин, 1989; Nisbet, Sleep, 2001; Пармон, Снытников, 2004). В таком случае в космосе жизнь переносится, очевидно, не в виде готовых форм (микроорганизмов), а в виде коротких РНК-нуклеотидов, вмороженных в лед (Anders, 1989; Chyba, McDonald, 1995). И в благоприятной среде цикл каждый раз запускается заново: синтез на монтмориллоните, появление ДНК и белка, возникновение клетки...

В современной живой клетке различные типы молекул РНК участвуют в базовых процессах реализации генетической информации



6

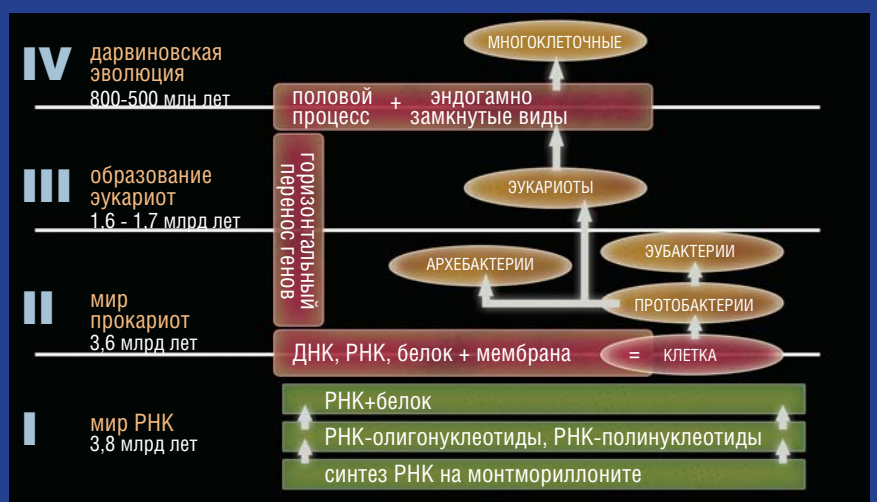


Транскрипция (считывание) генетической информации с молекулы ДНК на молекулу РНК и последующая трансляция (сборка) белковой молекулы на матричной РНК у прокариот (1) и эукариот (2).

Фото Е. Киселевой (Центр коллективного пользования микроскопического анализа биологических объектов СО РАН, Новосибирск)

У эукариот процессы реализации генетической информации пространственно разделены: транскрипция происходит в ядре (2а), трансляция — в цитоплазме (2б)

Сценарий основных стадий образования и эволюции жизни на Земле



Перейти Рубикон

После образования живой клетки «мир РНК», очевидно, относительно «быстро» перешел в новое измерение — появился мир бактерий. Какие же из бактерий возникли раньше? На этот счет существуют разные мнения.

Считается, что из некоего общего просто устроенного предка — протобактерии — независимо друг от друга образовались *прокариоты* (бактерии, иначе — зубактерии, и архебактерии), а затем *эукариоты* (Рассе, 1997). Есть много доказательств того, что эукариоты появились позже прокариот, а вот в отношении архебактерий среди микробиологов нет полной ясности.

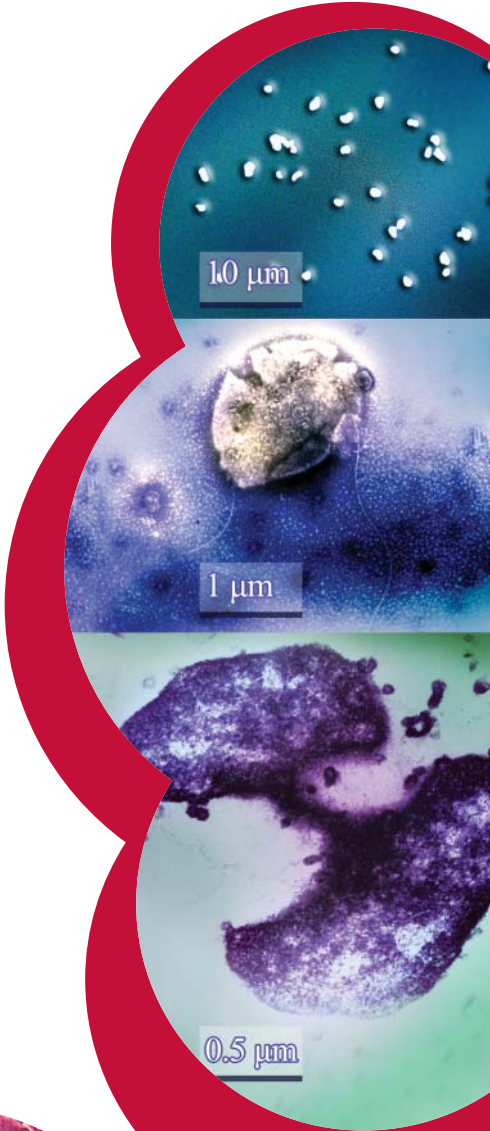
В частности, существовало мнение, что архебактерии — тупиковая эволюционная ветвь, освоившая экстремальные места обитания (с высокой температурой, кислотностью, уровнем радиации и т.д.) (Заварзин, 2001). Согласно другой точке зрения, архебактерии следует ставить в основание древа жизни (Martin, Russell, 2003; Воробьева, 2004), что подтверждается данными по эволюции структур рибосомальной РНК (Yusupov et al., 2001; Caetano-Anolles, 2002). С точки зрения простой логики, архебактерии должны были появиться первыми, так как только они могли выжить в экстремальных условиях первичной Земли.

Следующий этап — появление зубактерий, которые были на начальном этапе почти исключительно *хемотрофами* и *гетеротрофами* (при этом не исключено, что простейшие *автотрофы* — аналог фитопланктона — появились раньше, чем о том свидетельствует палеонтологическая летопись). Следует подчеркнуть, что в настоящее время не известны автономные сообщества, которые состояли бы исключительно из архебактерий или зубактерий. Сообщества, замкнутые по всем известным биогеохимическим циклам и вследствие этого способные существовать неограниченно долго. Напротив, распространены и наиболее сбалансированы как раз смешанные сообщества, причем самые тесные трофические отношения в них возникают, как правило, между парами далеких по происхождению организмов.

Современные бактерии продолжают жить и эволюционировать точно так же, как и их предки — и совсем не так, как тот эукариотический мир, к которому принадлежим мы...



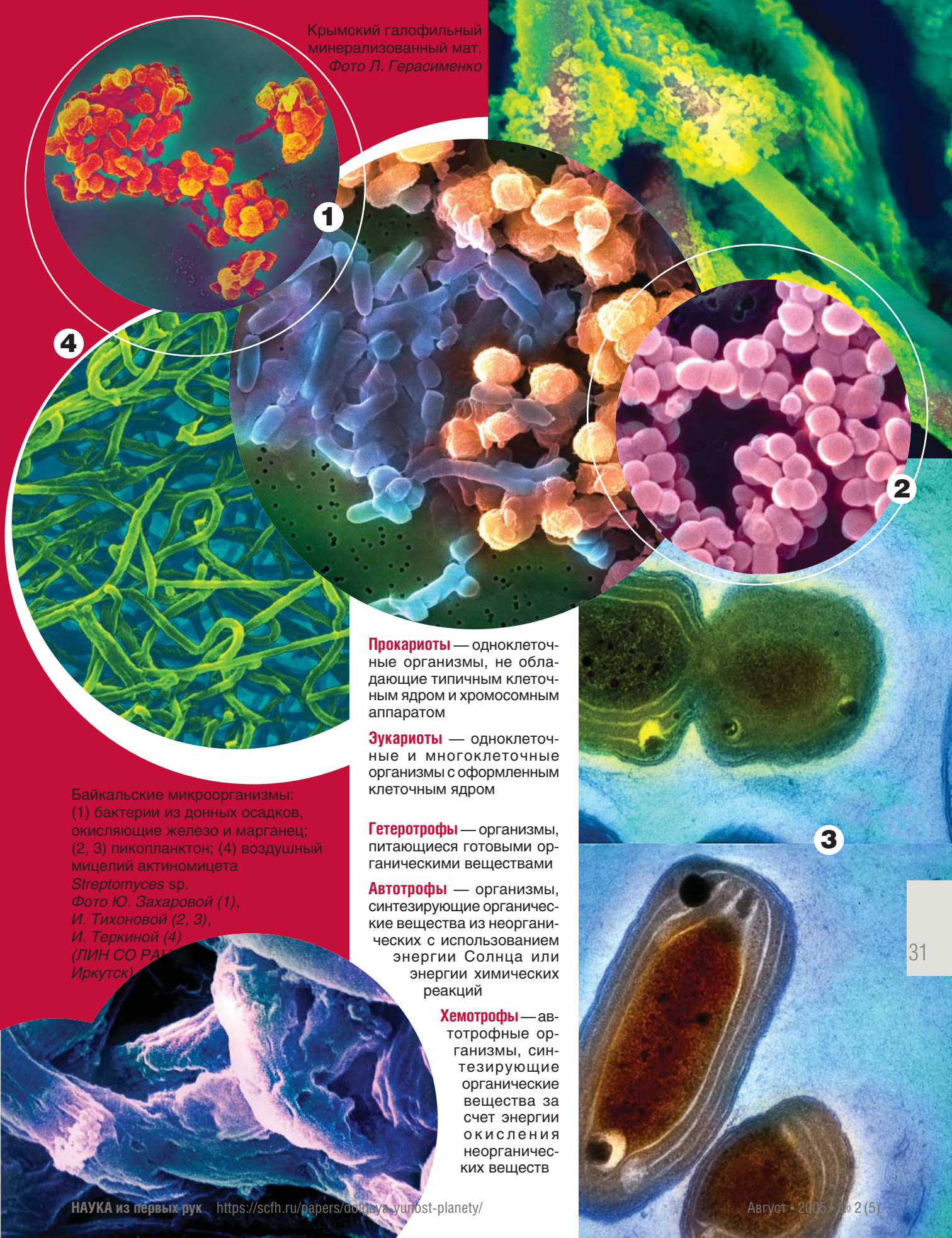
Метаногенная археобактерия *Methanosalsum zhilinae* из содовых озер Тувы. Фото Т. Жилиной (ИНМИ РАН, СПб)



Последовательные стадии минерализации цианобактерии *Microcoleus chthonoplastes*, выделенной из соленых лагун Сиваша. Фото Л. Герасименко (ИНМИ РАН, СПб)



Крымский галофильный минерализованный мат. Фото Л. Герасименко



Прокариоты — одноклеточные организмы, не обладающие типичным клеточным ядром и хромосомным аппаратом

Зукариоты — одноклеточные и многоклеточные организмы с оформленным клеточным ядром

Гетеротрофы — организмы, питающиеся готовыми органическими веществами

Автотрофы — организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических с использованием энергии Солнца или энергии химических реакций

Хемотрофы — автотрофные организмы, синтезирующие органические вещества за счет энергии окисления неорганических веществ

Байкальские микроорганизмы: (1) бактерии из донных осадков, окисляющие железо и марганец; (2, 3) пикопланктон; (4) воздушный мицелий актиномицета *Streptomyces* sp. Фото Ю. Захаровой (1), И. Тихоновой (2, 3), И. Теркиной (4) (ЛИН СО РАН, Иркутск)

ИЗМЕНЧИВОЕ ПОСТОЯНСТВО

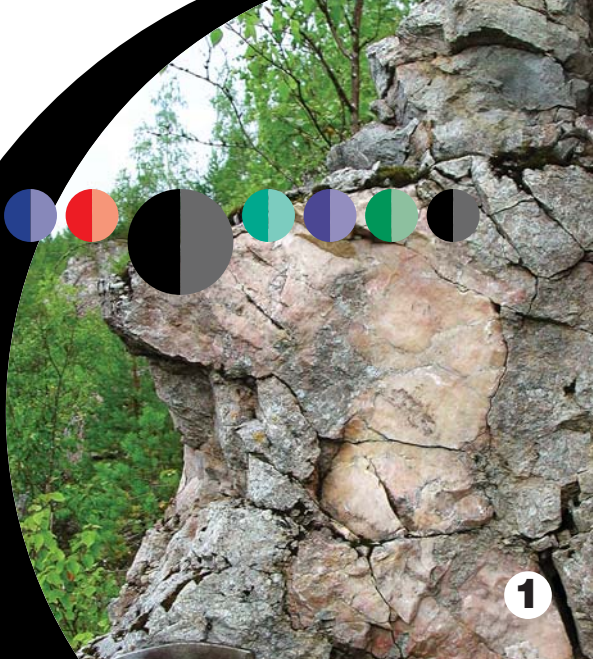
При сравнительной морфологической простоте бактерии характеризуются огромным биохимическим разнообразием. настолько огромным, что микробиологи признаются в отсутствии единых принципов классификации бактерий. Построенные схемы плохо согласуются между собой и далеки от единых «родословных» деревьев, характерных для высших организмов (Заварзин, 1999; 2001; 2003).

Противоречия в классификации заставляют вспомнить горизонтальный перенос генов и предположить особую, «сетевую», эволюцию бактерий. Горизонтальный перенос позволяет сравнительно быстро модифицировать метаболизм отдельной бактериальной клетки. Общий генетический пул бактериального сообщества при этом не меняется, а идет лишь перераспределение генов между клетками. Может быть, именно вследствие этого эволюция такого сообщества происходит медленно (Сергеев и др., 1996; Розанов, Заварзин 1997), хотя каждый отдельный организм в его составе может меняться очень быстро. Правда, при таких условиях само понятие «вид бактерии» вызывает много споров. Тем не менее и в бактериальном мире существует некая упорядоченность: различаются достаточно четко морфологически и биохимически обособленные группы бактерий.

Среди этих групп наиболее важными для биосферы, бесспорно, оказались цианобактерии, в огромной массе запечатленные в горных породах. Они появились около 3,6 млрд лет назад и достигали пиков численности 2 и 1 млрд лет назад (Сергеев и др., 2002). Эти фотосинтезирующие автотрофы строили особые бактериальные маты, представляющие собой плотный «ковер», состоящий из нескольких функциональных слоев. В современных матах цианобактерии существуют в верхнем слое — в стандартных кислородных условиях, а анаэробы-гетеротрофы — в нижнем, бескислородном (Розанов, Заварзин, 1997). Но схему ведь можно и перевернуть! Тогда получается, что на самых ранних этапах развития Земли с восстановительной средой контактировали сульфатредуцирующие и метанотрофные бактерии из «обычного» нижнего слоя, а цианобактерии развивались в своеобразных внутренних кислородных «карманах».

Сейчас цианобактериальные маты являются экзотикой, но раньше именно они создавали основную биомассу. Минеральные остатки этих матов — *строматолиты* — слагают огромные толщи горных пород, по которым можно судить, что биомасса прокариотического мира в древние времена была значительно больше биомассы современной биосферы (Розанов, Заварзин, 1997).

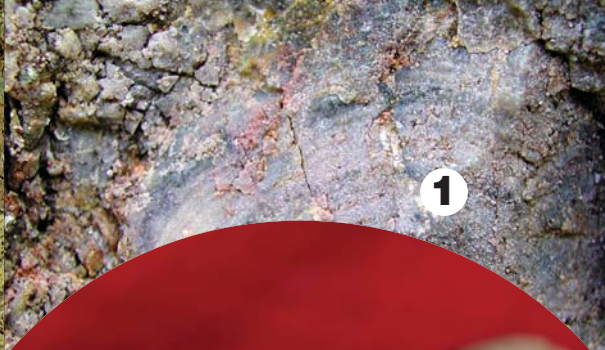
Максимальное развитие и распространение цианобактерий совпали со временем перехода от восстановительных к окисленным осадочным породам, т.е. они развивались уже в достаточно окисленном мире с атмосферой, содержащей свободный кислород (Заварзин, 2001; 2003). Но кто же из прокариот доминировал на Земле до цианобактерий?



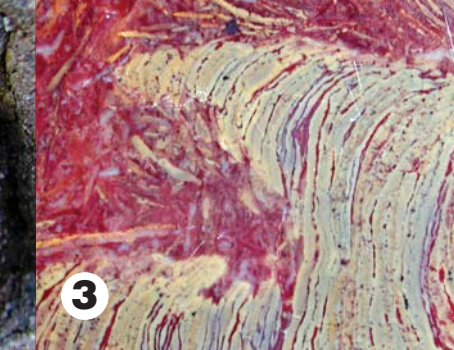
1



2



1



3

Строматолиты представляют собой слоистые известковые столбики со сложной микроструктурой.

(1) Доломит, Южная Карелия (ок. 2,2 млрд лет); рифейские строматолиты; (2) известняк, Шпицберген; (3) доломит, Южный Урал, Башкирия.

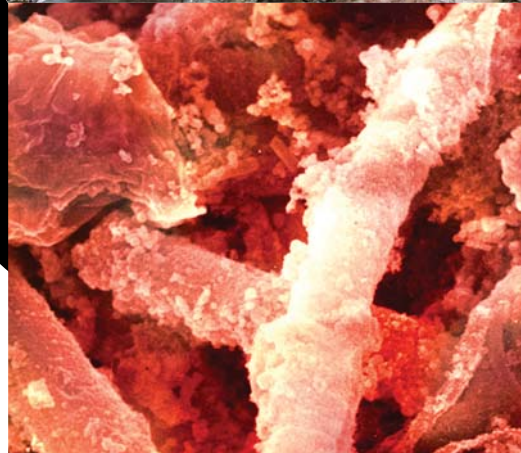
Фото В. Макарихина (ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск)

Современная кремнистая постройка *Gemma phyton conciliatum*. Долина Гейзеров, Камчатка.

Фото В. Макарихина

Современный крымский цианобактериальный мат с четким слоистым строением. Верхний зеленый слой — фотосинтезирующий, нижний черный — сульфатредуцирующий. Отмершие слои повторяются книзу.

Фото О. Миходюк



Галофильный минерализованный мат. Крым. Фото Л. Герасименко

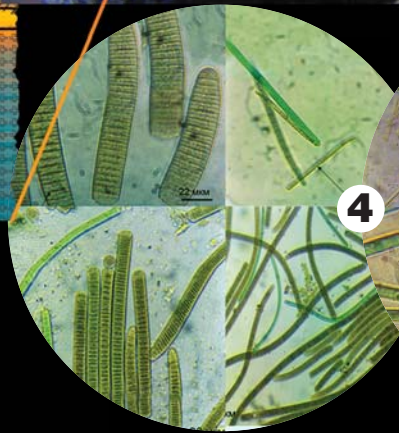
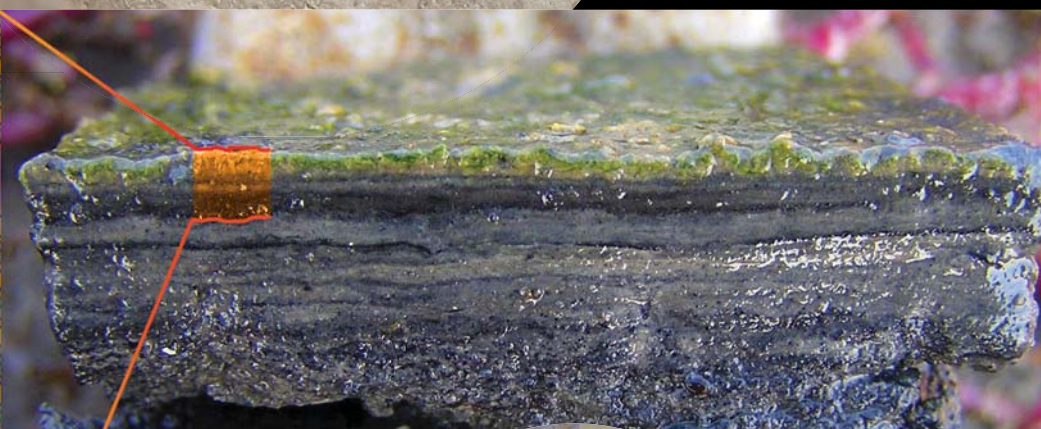
25

Фотосинтезирующая пленка цианобактерий со множеством пузырьков кислорода. Соленые озера Крыма. Фото О. Миходюк (ИНМИ РАН, СПб)

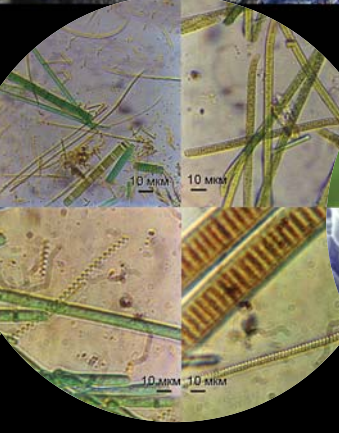


- цианобактерии
- слои карбоната кальция
- слой пурпурных бактерий с отложением гипса
- сульфатредуцирующие бактерии

Схема строения цианобактериального мата



4



5



33

(4) Цианобактерии — обитатели биопленок из соленых озер Крыма. Фото О. Миходюк

(5) *Halobacteroides elegans* — бактерия-галоэнаэроб, живущая при повышенной солености (до 17–20%), важный элемент трофической сети галофильных цианобактериальных матов. Фото Т. Жилиной

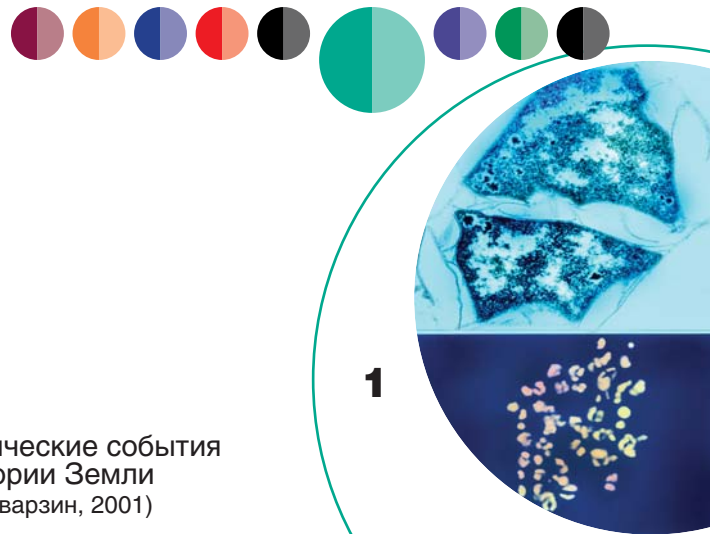
Когда не надо света...

Первичная атмосфера Земли вряд ли бы «пришлась по вкусу» большинству современных организмов — она в основном состояла из метана с примесями аммиака и сероводорода. Соответственно в экосистемах Земли господствовали археобактерии и метанотрофные бактерии, получающие энергию путем окисления метана.

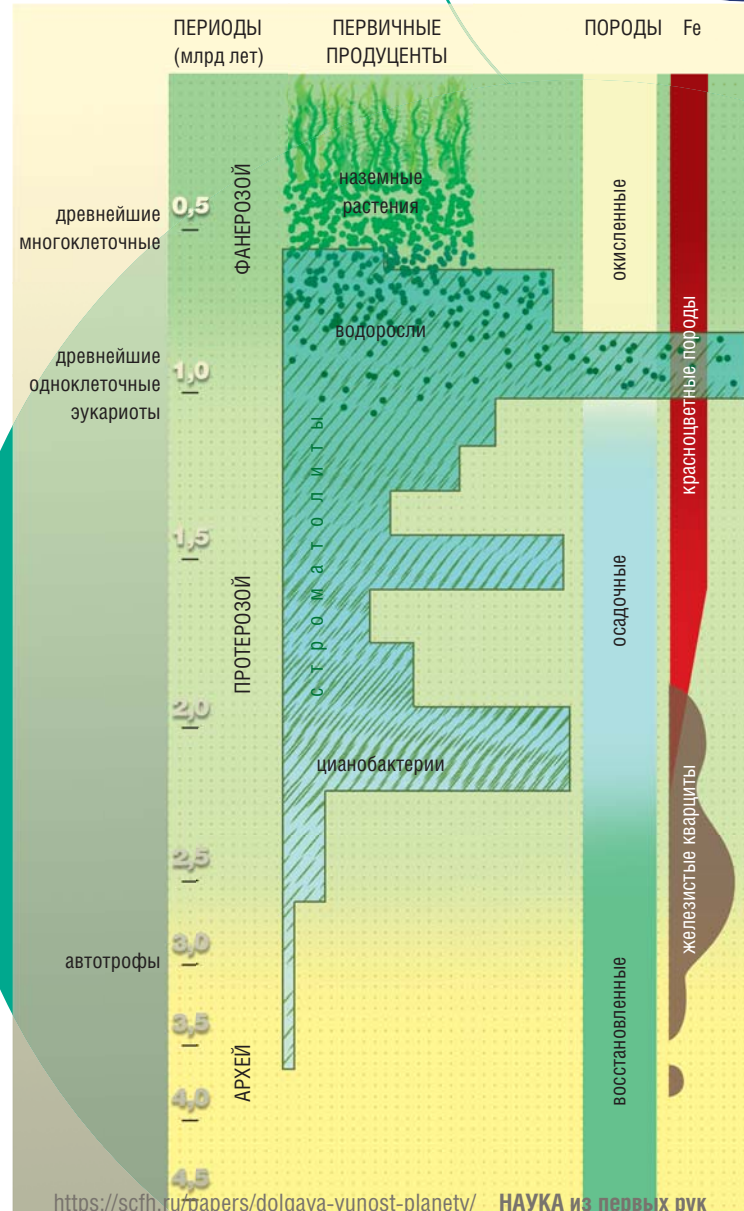
Полных аналогов таких экосистем в современном мире мы не знаем, а наиболее близкими можно считать биоценозы так называемых *черных курильщиков*. Последние образуются в районах рифтовых зон, там, где из разломов сквозь толщу океанической коры просачиваются горячие (300–400 °С) газы, нагревающие воду и насыщающие ее сероводородом, метаном и сульфидами металлов. Вокруг черных курильщиков возникает и бурно развивается жизнь, основой которой является хемосинтез бактерий.

Загадкой черных курильщиков являются такие существа, как вестиментиферы. Большую часть туловища этих червеобразных созданий занимает особый орган, клетки которого буквально напичканы хемосинтезирующими бактериями, которые поглощают метан и сероводород. Кровеносная система вестиментифер переносит эти газы наряду с кислородом: гемоглобин вестиментифер связывает и кислород, и сероводород, причем кислород связывается с гемом, а сероводород — с белковой частью молекулы гемоглобина (Малахов и др., 1997; Малахов, Галкин, 1998). Аналогичные и даже более простые механизмы симбиоза с бактериями-хемосинтетиками развились у других эукариот (креветок, моллюсков, червей), адаптировавшихся к жизни в зонах черных курильщиков.

Эта среда обитания чрезвычайно консервативна — в подобных оазисах бактериальной жизни миллионы лет сохраняется память об условиях древней Земли. Нужно отметить, что удельная (на единицу площади) биомасса таких экосистем в десятки раз больше биомассы экосистем поверхности. Таким образом, хемосинтез оказывается гораздо эффективнее фотосинтеза, и на первых порах на Земле он преобладал. Можно сказать, что только когда был «съеден» весь метан и сероводород, на сцену вышел фотосинтез (Добрецов, 2004).

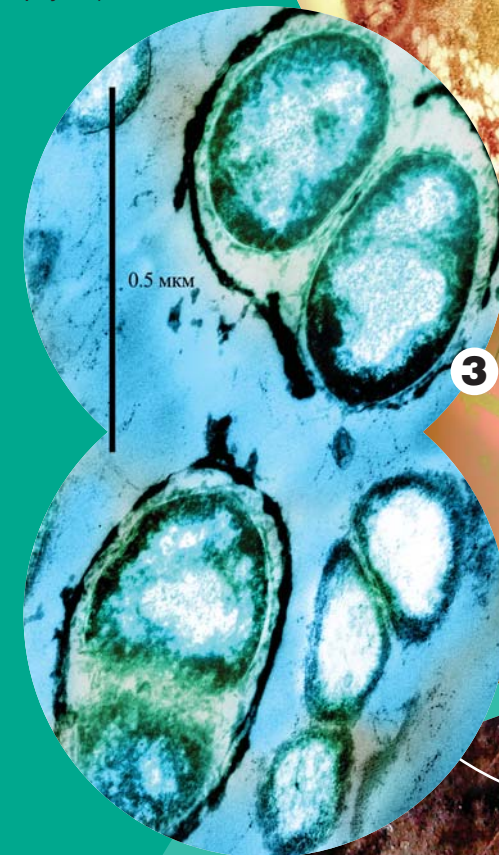


Биотические события в истории Земли (по: Заварзин, 2001)



Метанообразующие археобактерии: *Methanohalobium evestigatum* из соленых лагун Арабатской стрелки (1) и *Methanosarcina vasculata* из обыкновенного подмосковного низового болота (2). Фото Т. Жилиной

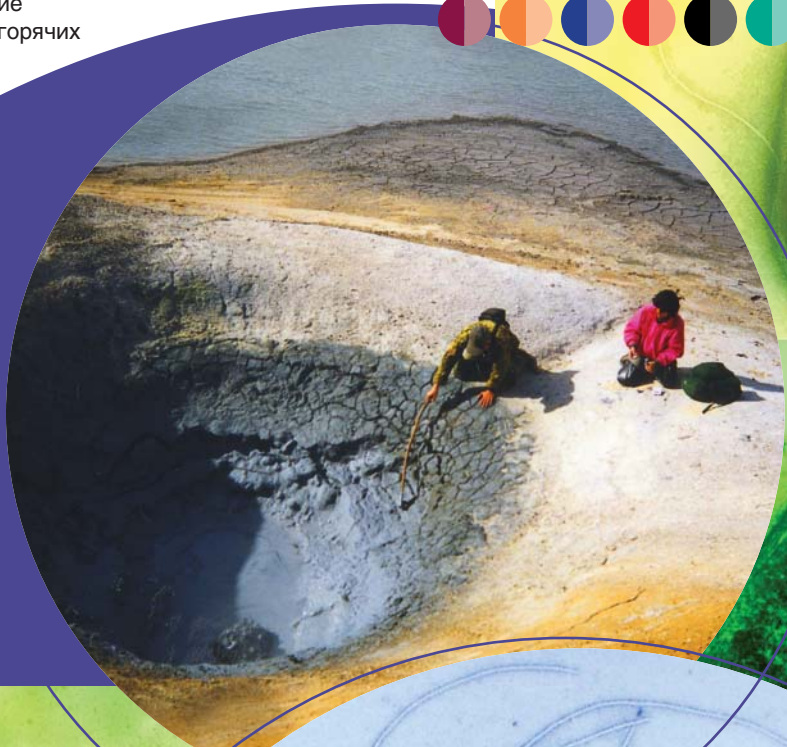
Метанотрофные бактерии из придонного слоя воды в районе приповерхностного залегания гидратов метана. Южный Байкал (3). Фото О. Шубенковой (ЛИН СО РАН, Иркутск)



Серные бактерии рода *Thioploca*, обитающие в осадках Байкала, используют в качестве источника энергии серу или сероводород. Фото Т. Земской

Thermoanaerobacter и другие термофильные обитатели горячих камчатских источников, обнаруженные Т. Соколовой (ИНМИ РАН, СПб)

Жизнь можно найти даже в этом горячем грязевом котле (74 °C). П-ов Камчатка, кальдера Узон. Фото М. Прокофьевой (ИНМИ РАН, СПб)



Анаэробные бактерии *Carboxydocella thermautotropha* и *Thermosinus carboxydvorans* предпочитают более «прохладную» температуру — не выше 60 °C

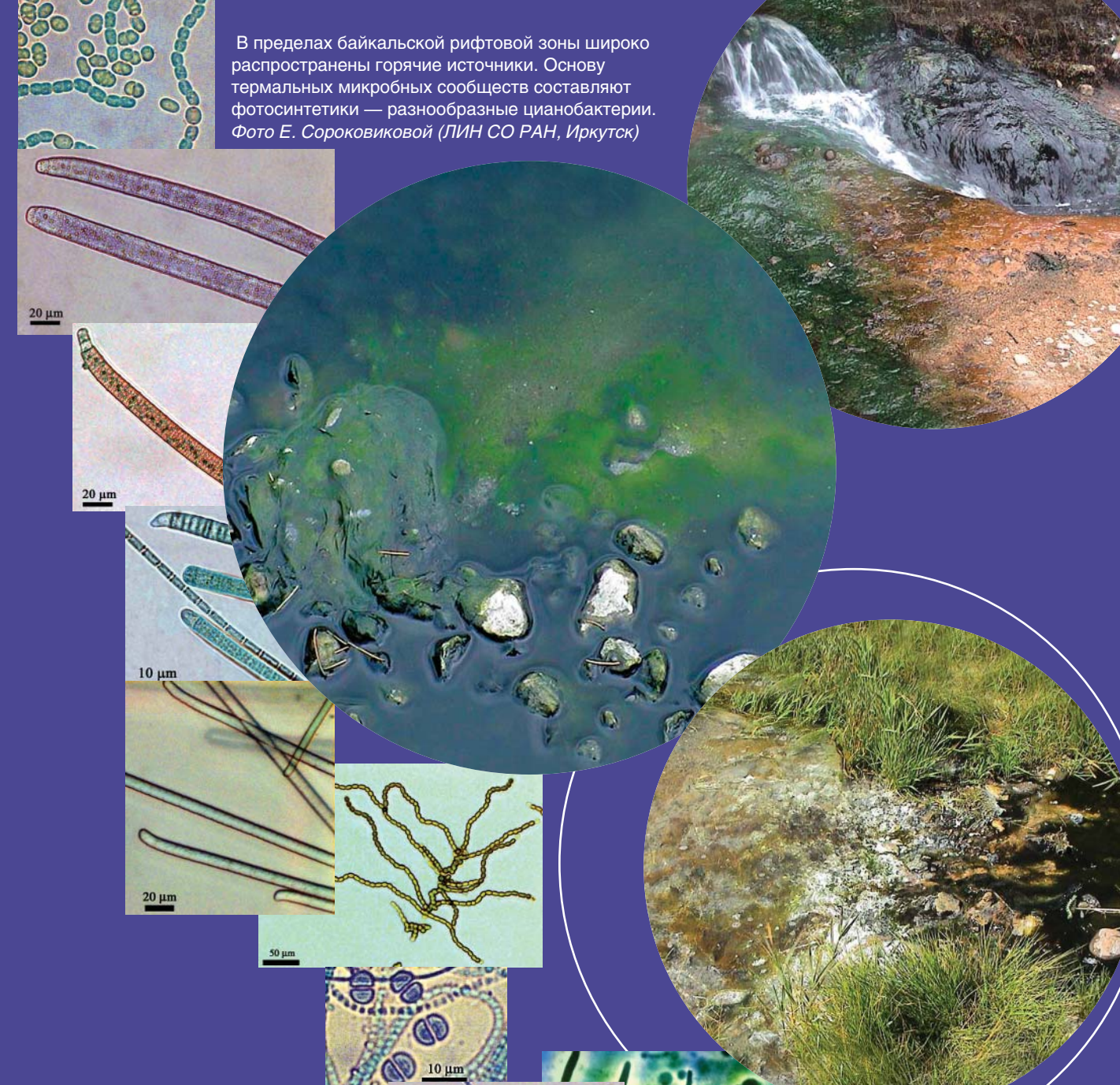
Оптимальная температура для этой красавицы археобактерии рода *Thermococcus* — 85 °C

Фото Н. Кострикиной (ИНМИ РАН, СПб)

ЭКСТРИМАЛЬНАЯ ЗЕМЛЯ

НА ПЛАНЕТЕ ЕСТЬ НЕМАЛО МЕСТ, ХРАНЯЩИХ ПАМЯТЬ ОБ УСЛОВИЯХ ОБИТАНИЯ НА ДРЕВНЕЙ ЗЕМЛЕ: ГИПЕРСОЛЕННЫЕ ЛАГУНЫ, СОДОВЫЕ ОЗЕРА, ГОРЯЧИЕ ИСТОЧНИКИ... ЭТИ СОВРЕМЕННЫЕ АНАЛОГИ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ И АРХЕЙСКИХ МЕСТООБИТАНИЙ И СЕЙЧАС ЗАСЕЛЕНЫ РАЗНООБРАЗНОЙ ПРОКАРИОТНОЙ ЖИЗНЬЮ

В пределах байкальской рифтовой зоны широко распространены горячие источники. Основу термальных микробных сообществ составляют фотосинтетики — разнообразные цианобактерии. Фото Е. Сароковиной (ЛИН СО РАН, Иркутск)



Археобактерия *Orenia sivashensis*, обитатель Сиваша, комфортно чувствует себя в «рассоле» с концентрацией соли до 17–20%. На нижнем фото — срез редко образуемой ею споры. Фото Т. Жилиной

Рождение Венеры

Следующая судьбоносная перестройка органического мира Земли — появление эукариот. Произошло это примерно 1,6–1,7 млрд лет назад — в период, отмеченный множеством важных перестроек в окружающей среде. Вероятно, геологические события, формируя новые физико-химические условия существования, влияли и на ход биологической эволюции, хотя конкретные механизмы этого воздействия остаются умозрительными (Закруткин, 1993; Розанов, Федонкин, 1994; Федонкин, 2003; Hengeveld, Fedonkin, 2004). Эукариоты, возможно, сразу дали несколько жизненных форм — гетеротрофов и автотрофов, простейший фитопланктон (Schopf, 1983; Knoll, 1994; Сергеев и др., 1996; Cavalier-Smith, 2002). Но главное, вместе с эукариотами появилась новая форма размножения, связанная с половым процессом.

Известно, что основной способ размножения у прокариот — простое деление. Несмотря на то что у них известны некоторые подобию полового процесса, при которых происходит обмен участками ДНК между различными особями (конъюгация, трансдукция и т. п.), они не являются обязательным условием размножения и запускаются обычно лишь в экстремальных условиях (Прозоров, 2002). Таким образом, в бактериальной популяции аналоги полового процесса служат лишь вспомогательным способом повышения изменчивости.

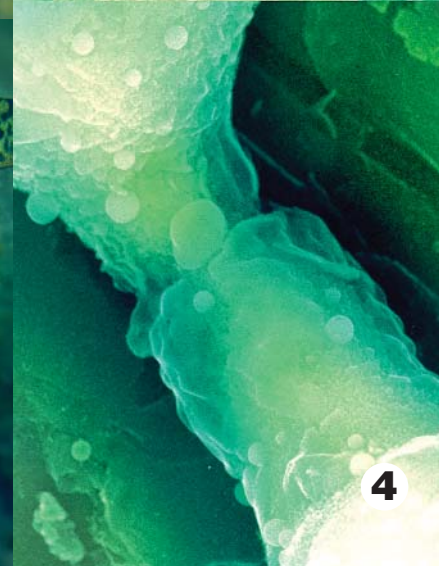
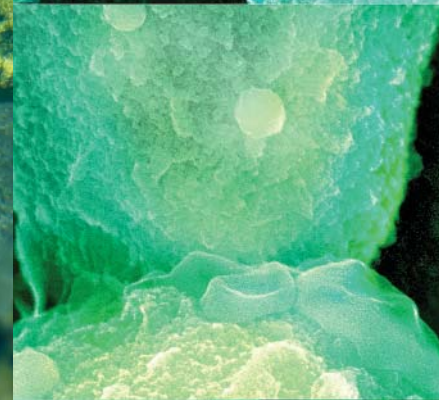
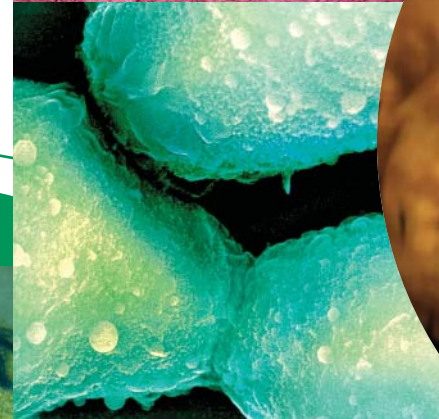
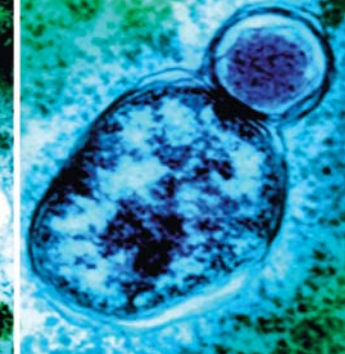
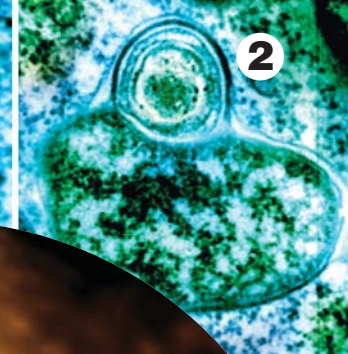
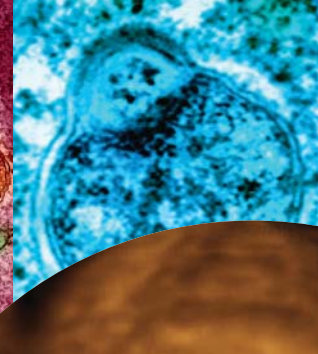
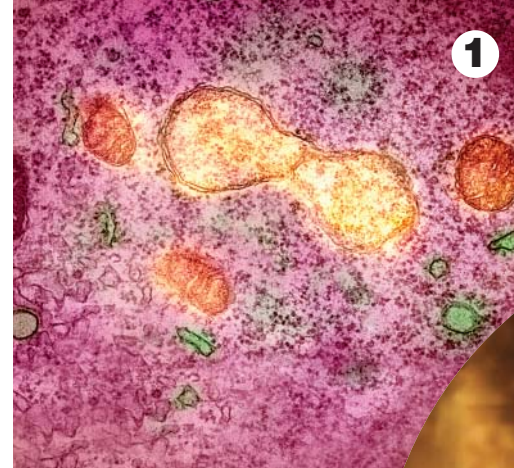
Напротив, у большинства эукариот размножению обязательно предшествует обмен участками ДНК в форме полового процесса (Cavalier-Smith 2002; Solari, 2002), который и является для них основным способом генерации изменчивости. Бесполое размножение, наблюдаемое в отдельных группах эукариот, служит обычно либо для быстрого наращивания биомассы (партеногенез тлей, вегетативное размножение растений), либо для воспроизводства в экстремальных условиях, когда шансы встретить партнера минимальны (партеногенез у ящериц, апомиксис у растений) (Васильев и др, 1983; Рувинский, 1991).

Таким образом, эта дата (1,65 млрд лет назад) знаменует важнейший рубеж в развитии биоразнообразия. В следующие миллионы лет половой процесс становится одним из главных факторов видообразования, в результате которого появляются эндогамно замкнутые виды (Старобогатов, 1985; Рувинский, 1991). Возможно, благодаря именно половому размножению появились и многоклеточные организмы, подавляющее большинство которых представлено как раз такими репродуктивно изолированными систематическими группами.



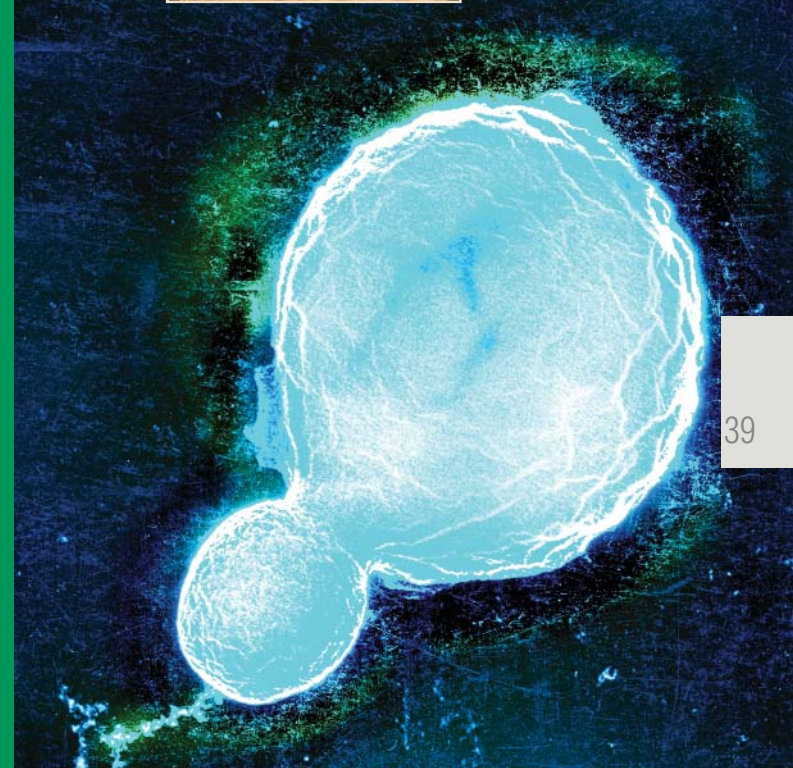
Бактерия *вольбахия* — внутриклеточный квартирант высших организмов — размножается, как и положено прокариотам, простым делением (1) или с образованием споры (2). Фото Е. Киселевой

Любовные «объятия» многоклеточных эукариот — испанских тритонов *Pleurodeles waltl* (самка сверху). Фото В. Ковалева («Живая вода», vitawater.ru)



Дитя человеческое на 7 и 18 неделях беременности. Ультразвуковое сканирование. Фото А. Махотина (Центр новых медицинских технологий, Новосибирск)

Дрожжи являются эукариотами, благодаря одноклеточности сохранившими некоторые прокариотические черты. Размножаются почкованием (3), а также способны обмениваться участками ДНК в процессе конъюгации — аналоге полового размножения, характерном для бактерий (4). Фото Е. Киселевой



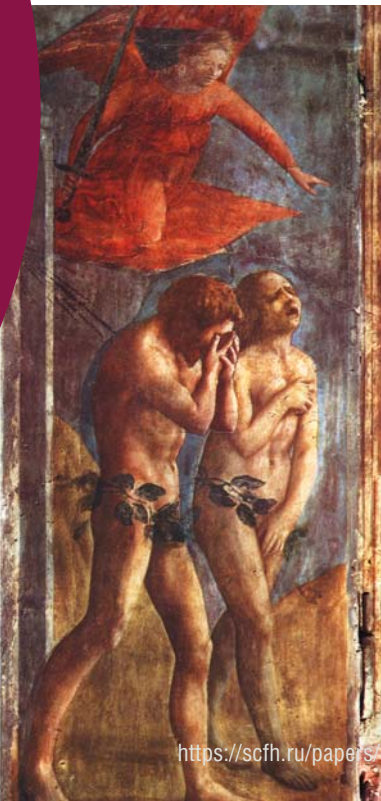
ВУХ МИРОВ МЕЖДУ...

Переход от прокариот к эукариотам сопровождался увеличением размера генома в среднем почти вдвое, число же самих генов выросло от нескольких сотен до 30-40 тыс. (у многоклеточных эукариот). При этом важно, что у бактерий сложность организации в целом прямо зависит от размера генома и числа генов, а у эукариот таких связей найти не удастся. Например, геном мухи дрозофилы содержит всего 13600 генов, а геном более просто устроенного круглого червя *Caenorhabditis elegans* — 19000 генов. Человек и рыба фугу имеют примерно равное число генов (Cargoll, 2001; Taft, Mattick, 2003). Очевидно, что здесь мы имеем дело с фундаментальной биологической закономерностью, определившей пути эволюции у разных организмов — у прокариот, жестко связавших свой прогресс с размерами генома, и эукариот, у которых эта связь с какого-то момента практически перестает действовать.

Плоды этих эволюционных стратегий перед нами. Эукариотический мир Земли, эволюционировавший по «дарвиновским законам», породил бесчисленные сложные формы вымерших и ныне существующих существ, увенчавшиеся человеком разумным. Незаметный же мир бактерий со своими особыми законами эволюции и функциональным многообразием остался базисом жизни на планете. Каковы были причины перехода от простого деления клеток к половому размножению, почему один мир сменился другим — неизвестно. И пусть эти вопросы кажутся слишком наивными — кто сможет на них ответить?

Автор и редакция благодарят за помощь в подготовке публикации академика Г.А. Заварзина, М.И. Прокофьеву и их коллег (Институт микробиологии им. Виноградова РАН, СПб), к.б.н. Т.И. Земскую и коллег (Лимнологический институт СО РАН, Иркутск), к.б.н. Е.В. Киселеву (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск), д.б.н. В.В. Макарихина (Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск), А.А. Махотина (Центр новых медицинских технологий Новосибирск), к.б.н. В.К. Ковалева (Интернет-журнал «Живая вода»)

Мазаччо. Изгнание из рая



Литература

Добрецов Н.А. О ранних стадиях зарождения и эволюции жизни на земле // Вестник ВОГиС. 2005. Т. 9, № 1. С. 43–54.

Публикации по теме «Происхождение и эволюция жизни» в журнале «НАУКА из первых рук»:

Бердников В.А. Сложность как мерило эволюционного прогресса. 2004. № 0. С. 70–77.

Власов В.В., Власов А.В. Жизнь начиналась с РНК. 2004. № 2. С. 6–19.

Деревянко А.П. Человек идет по свету. 2005. № 1. С. 18–26.

Добрецов Н.Л. Что мы знаем и чего не знаем об эволюции. 2004. № 0. С. 8–19.

Заварзин Г.А. Микробы держат небо. 2004. № 1. С. 21–27.

Инге-Вецтомов С.Г. Поиски периодической системы в ... эволюции. 2004. № 2. С. 20–25.

Каныгин А.В. Похвальное слово катастрофам. 2004. № 1. С. 29–39.

Колчанов Н.А. Ловчие сети эволюции. 2004. № 0. С. 60–69.

Пармон В.Н. Естественный отбор среди молекул. 2004. № 0. С. 32–41.

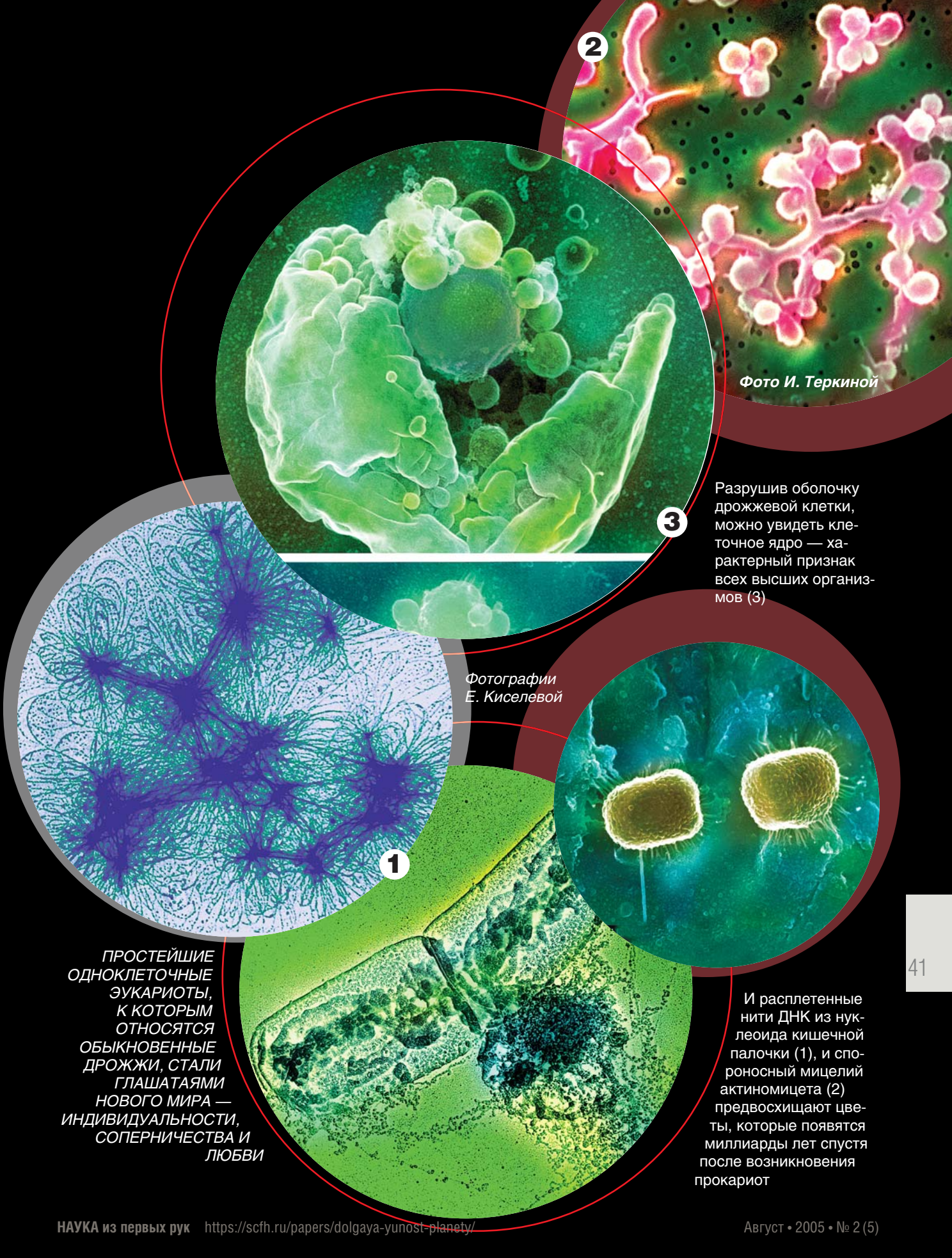
Пармон В.Н., Снытников В.Н. Жизнь создает планеты. 2004. № 0. С. 21–31.

Розанов А.Ю. От кембрия и до сотворения мира. 2005. № 1. С. 6–17.

Шестаков С.В. Трансгенные родственники. 2004. № 2. С. 26–31.

Юшкин Н.П. Рожденные из кристаллов? 2004. № 0. С. 43–54.

ПРОСТЕЙШИЕ
ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ
ЭУКАРИОТЫ,
К КОТОРЫМ
ОТНОСЯТСЯ
ОБЫКНОВЕННЫЕ
ДРОЖЖИ, СТАЛИ
ГЛАШАТАЯМИ
НОВОГО МИРА —
ИНДИВИДУАЛЬНОСТИ,
СОПЕРНИЧЕСТВА И
ЛЮБВИ



Фотографии Е. Киселевой

Фото И. Теркиной

Разрушив оболочку дрожжевой клетки, можно увидеть клеточное ядро — характерный признак всех высших организмов (3)

И расплетенные нити ДНК из нуклеоида кишечной палочки (1), и споровый мицелий актиномицета (2) предвосхищают цветы, которые появятся миллиарды лет спустя после возникновения прокариот