

Николай ДОБРЕЦОВ

что МЫ ЗНАЕМ и чего НЕ ЗНАЕМ ЭВОЛЮЦИИ об

*Моментальный снимок
истории планеты:
к вопросу «белых пятен»*

Человека всегда особенно интересовала загадка происхождения сознания. Само название биологического вида *Homo sapiens* как бы обязывает к ее разрешению. Но если попытаться отрешиться на время от собственного антропоцентризма и встать на беспристрастную точку зрения природы, то еще неизвестно, что окажется важнее — загадка сознания или загадка собственно жизни, ее зарождения. Все началось не с человека, не с динозавров, неизбежно появляющихся в популярных беседах о земной истории, а гораздо ранее. Чтобы разобраться со всем этим, следует комплексно проанализировать эволюционную лестницу.

Особенный акцент тут я бы сделал на термине «комплексно». Эпохи Возрождения и Просвещения, когда всякий ученый был, прежде всего, увлеченным универсалом, прошли. Логика развития науки привела к тому, что наука сильно специализировалась, разделилась на довольно узкие области и разделы, в которых работают профессионалы и границы между которыми кажутся почти непреодолимыми. В таком разделении есть свои преимущества, но и минус огромен — исчезает возможность цельного восприятия явления. Ученые,



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 премии (1976 г.) и Государственной премии РФ (1997 г.)

затворившись каждый в своей уютной норке, перестают слышать друг друга. Нет объемного взгляда, нет единой хотя бы терминологии — нет и, по большому счету, адекватного понимания.

Это довольно остро чувствуется многими исследователями. То есть возникает необходимость собираться и разговаривать не по тем или иным узкоспециальным темам, а по глобальным задачам, по общим проблемам. По той же проблеме происхождения и эволюции жизни на Земле, которую мы на этот раз собираемся обсудить. Мы — это геологи, биологи, химики, археологи, палеонтологи, генетики... Да, тут мы встречаемся с вопросами труднейшими, во многом вечными, но эта попытка взаимопонимания, нахождения общего языка, обмена специфической информацией в любом случае должна оказаться плодотворной, питательной. Даже если итог будет напоминать своего рода «мозаику». Мозаика — это уже не хаос, а первый шаг к более или менее приемлемой реконструкции реальной картины.

Не стоит лишь при этом забывать одной вещи. Древнейшая история Земли — область довольно темная; для безусловных утверждений здесь явно не хватает фактов. А красивую теорию на недостаточном материале построить, в общем-то, нетрудно. Но красивая теория — при условии ее произвольности — это явление эстетического, а не научного порядка. Соблазна такой сенсационности, на мой взгляд, следует избегать. Хотя определенная провокационность, даже на грани фола (но не переступая ее), — при постановке проблемы — может сослужить и неплохую службу, и подобной провокационности я в своих набросках сторониться не собираюсь. Но в окончательных определениях требуются хороший скепсис и осторожность.

Три кита эволюции

Покончив на этом с предварительными замечаниями, далее я сделаю пунктирный обзор того, что мы имеем, — с выделением некоторых спорных вопросов, на которых есть смысл остановить внимание.

Итак. Возраст нашей родной планеты, равно как и остальных тел Солнечной системы (это подтверждается анализом метеоритов и рядом других фактов) — 4,6 млрд лет. Но земная твердь при этом появилась лишь около 4 млрд лет назад. Первые 600 млн лет жизни Земли не сохранили никакой геологической летописи. Есть большие основания предполагать, что это время существования магматического океана глубиной до 500 километров. Планета сначала разогревалась, а 4 млрд лет назад стала довольно быстро (скажем, по сравнению с Венерой, которая до сих пор горяча) остывать. И это есть первая причина старта эволюции.

Вторая — необратимые изменения гидросферы и атмосферы. Что привело к окислению атмосферы? Во-первых, то же самое остывание. Во-вторых, диссипация водорода в космос, причем на стадии горячей

Земли этот процесс шел со скоростью на порядок больше, чем сегодня. С сегодняшними скоростями мы смогли бы окислить лишь десятую часть того, что окислено. И, наконец, в-третьих, сама жизнь.

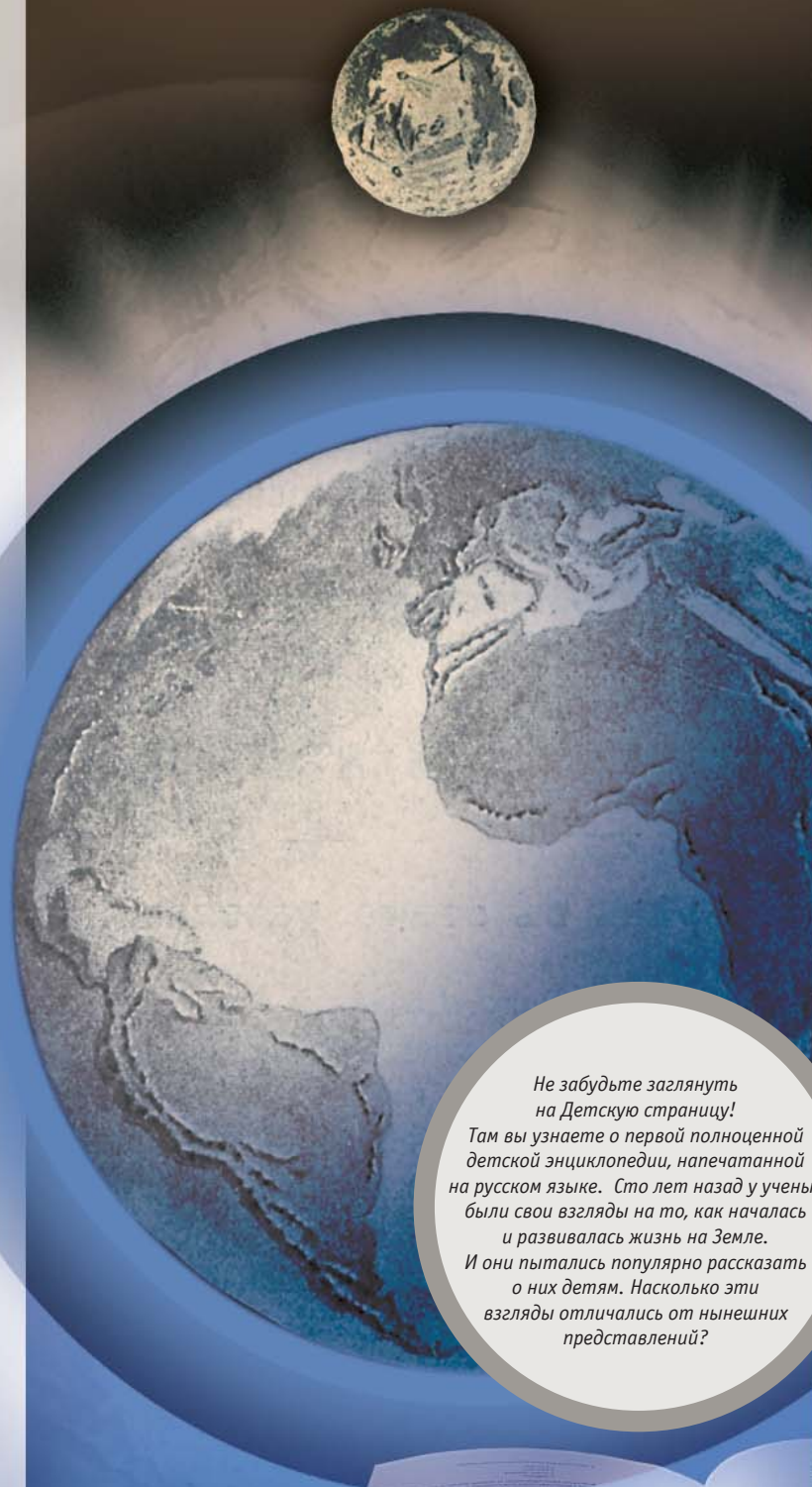
Но этот последний фактор — вовсе не решающий, как привыкли считать многие биологи. Это доказывает сопоставление с той же Венерой, горячая атмосфера которой предельно окислена — там мы найдем углекислый газ и немного воды при полном отсутствии метана и других углеводородов. И никаких намеков на жизнь. Жизнь на Земле заметно воздействовала на окислительный процесс, когда биомасса стала значительной, но не на ранних этапах существования планеты.

Почти четыре миллиарда лет назад Землю стали обживать бактерии. Их излюбленным пакомством был метан



Архейские гнейсы, Карелия

С возникновением земной тверди 4 млрд лет назад почти сразу же появились осадочные породы. Древнейшими осадками является так называемая серия Исуа в Гренландии. По некоторым данным, в этих осадочных породах уже видны результаты жизнедеятельности метанотрофных бактерий. Это указывает на то, что в тогдешней земной атмосфере преобладал метан — на фоне вероятного присутствия и водорода, и аммиака, и углекислого газа, и воды.



Не забудьте заглянуть на Детскую страницу! Там вы узнаете о первой полноценной детской энциклопедии, напечатанной на русском языке. Сто лет назад у ученых были свои взгляды на то, как началась и развивалась жизнь на Земле. И они пытались популярно рассказать о них детям. Насколько эти взгляды отличались от нынешних представлений?

Мы полагаем, что в своей первой стадии развития солнечная система была туманностью, похожей на одну из самых маленьких туманностей среди тех десятков тысяч, которые мы наблюдаем на небе.

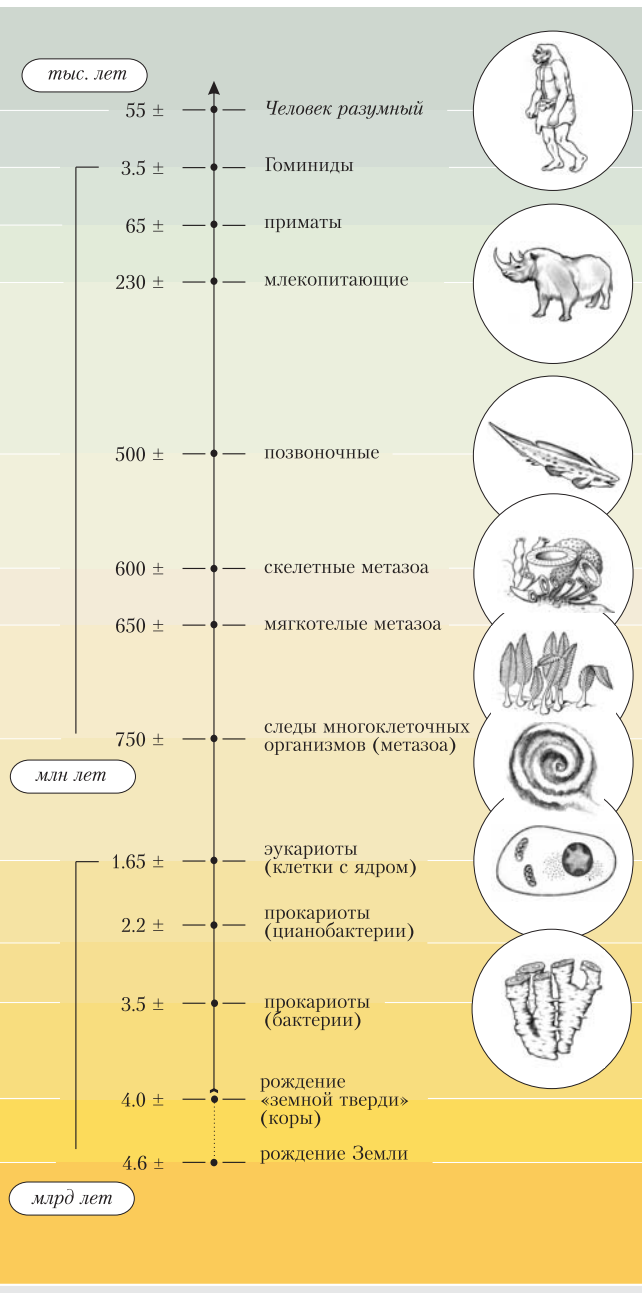
Несомненно, что туманность способна сделаться плоской и принять форму увеличительного стекла. Слишком много туманностей обладают этой формой, так что мы не можем не думать, что на это имеется основательная причина. Почти нет сомнений в том, что если бы мы могли прожить так долго, чтобы наблюдать изменения таких туманностей, то мы увидели бы, что они постепенно рождают планеты.

Солнце и его семья миров представляла собой одно целое, — огромное прозрачное облако, которое, в конце концов, разбилось на меньшие облака. Одним из них было облако, образовавшее Землю и Луну, которые представляли собой тогда раскаленные газовые шары, горячее в центре и несколько холоднее на поверхности. Постепенно газ превратился в жидкость. Тогда еще не было ни одного живого существа на Земле, и поверхность ее была похожа на раскаленный докрасна океан. Постепенно океан охладился, и образовался тот земной шар, на котором мы живем и внутренность которого все еще по-прежнему раскалена.

Детская
Энциклопедия
100 лет назад



Эукариоты
познакомили мир
с «половым вопросом»



Был ли прародитель у одноклеточных?

Следующий важнейший рубеж — появление на земной сцене эукариот. Прокариотами, к которым относят бактерии и синезеленые водоросли, называют крошечные одноклеточные организмы, не имеющие ядра. Прокариоты — это первичная жизнь. В отличие от прокариот, эукариоты представляют собой первые клетки с ядром, где находится генетический материал, — эта особенность позволила организмам делиться по половому принципу. Половой путь размножения оказался необыкновенно удобен, с эволюционной точки зрения. Новые признаки при этом «проверяются» на самцах, а прошедшие отбор «закрепляются» у самок. Поразительно, если вдуматься, даже в чем-то изысканно. асто утверждают, что прокариоты появились 3,5 млрд лет назад, а эукариоты — примерно 1,65 млрд лет назад.

Ч Вместе с тем есть данные о том, что все они появились одновременно; более того, в ряде публикаций утверждается, что цианобактерии (тоже относящиеся к прокариотам) присутствовали уже в серии Исуа — другими словами, были буквально ровесниками твердой поверхности планеты. Почему эта проблема так интересна? Потому что ее решение прояснит вопрос, имеем ли мы в этом случае дело с эволюцией, сменой бактериальных форм, или никакой эволюции тут не было.

Все это связано и с еще одной проблемой, которую страстно обсуждают ученые. Это проблема панспермии, то есть космического происхождения форм жизни, их переноса с одного космического тела на другое. Впрочем, на мой взгляд, проблема эта перестает быть столь острой, стоит нам лишь поменять союз «или» на союз «и». Не: земное происхождение жизни или панспермия? А: земное происхождение жизни и панспермия. Не альтернатива, а взаимодополнение. Панспермия просто расширяет возможности эволюции. В том смысле, что, как говорят некоторые исследователи, органические блоки, поставляемые на Землю в результате панспермии, начинают соревноваться с земными, инициируя отбор. Если это так, то из космоса на нашу планету занесены, скорее всего, архебактерии, способные существовать в самых невероятных условиях — даже в ядерных реакторах, где все живое должно быть убито. Тогда схема, как мне представля-



Кристаллы циркона — древнейшего на Земле минерала

ется, такова: между прокариотами и архебактериями-пришельцами происходит определенная борьба, а эукариоты появляются чуть позже и вытесняют архебактерии в очень специфические ниши. Столбовая дорога эволюции далее торится эукариотами — именно на их основе развивается биомасса. В конечном счете, по прошествии ряда эволюционных этапов, в рамках именно этой цепочки рождается и человек.

В самом общем виде, нас интересуют законы распространения живого вещества. Переносит его ветром, морской водой — может переносить и метеоритами. Добавляется еще один источник переноса, только и всего. Ведь речь пока идет не о сознании, а о зарождении жизни, о ее самых примитивных формах.

Когда съели весь метан

Двигаемся дальше. Около 2 млрд лет назад мы обнаруживаем точку Пастера, характеризующую появление на Земле достаточного количества свободного кислорода (более одного процента). С этой точкой сопоставим время формирования океана в современном смысле. До этого на Земле были лишь горячие бассейны, содовые или в любом случае высокоминерализованные озера и лужи. Этот факт доказывается анализом кремнистых осадков в серии Исуа, фиксирующим температуру тогдашней земной поверхности около 100 градусов по Цельсию.

Вот еще что стоит особенно отметить. Все, что касается архейской, древнейшей истории, очень важно в плане понимания аспектов возникновения ранних форм жизни. И если многого мы уже не узнаем никогда, то с особенностями архейских протобассейнов у нас, кажется, есть возможность познакомиться и сегодня.

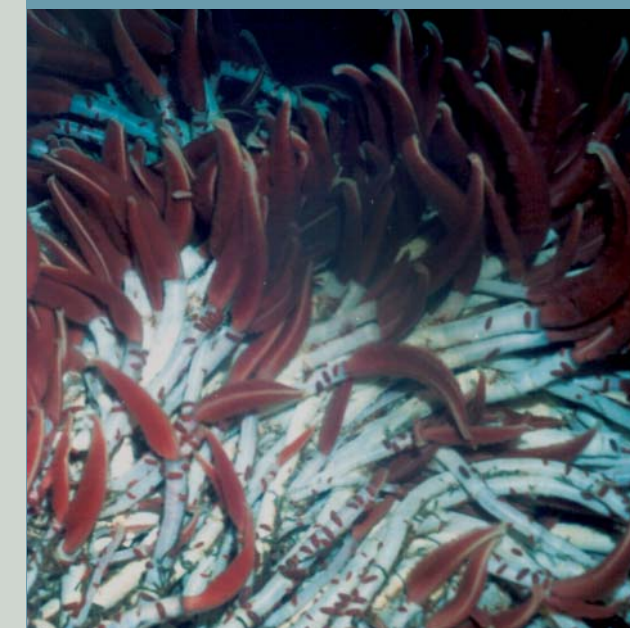
Познакомиться — не на уровне догадок и гипотез, а как бы встретившись лицом к лицу с ними. По мнению многих ученых, моделью архейских протобассейнов могут служить горячие источники, бьющие на дне океана, — так называемые «черные курильщики».

Биомассу, сосредоточенную вокруг «курильщиков», составляют хемосинтезирующие организмы. Это, впрочем, и неудивительно — фотосинтез на глубинах в несколько километров элементарно невозможен.

Удивительно другое — продуктивность этой биомассы много выше, нежели у большинства современных биосистем. А это значит, что фотосинтез вообще не столь уж необходим для развития жизни. Он появился и стал ведущим после того, как был «съеден» весь метан и другие химические вещества, без которых хемосинтез просто не идет.

Жабры креветкам не так уж и нужны. Рядом с «черными курильщиками» они от них с удовольствием избавляются

Вестиментиферы Riftia и многощетинковые черви. «Черный курильщик», глубина 2000 м. Такая вестиментифера строит трубки до трех метров длиной, откуда высовывает алый жабберный султан. Почти все ее тело занимает особый губчатый орган — трофосома, где содержится до 10 млн серных бактерий



Все это чрезвычайно любопытно. Поразительно то, как стремительно возобновляется жизнь вокруг «курильщиков». Горячие источники существуют короткое время, их разделяют огромные — в тысячи километров! — расстояния. Но как только начинает бить новый «курильщик» — тут же рядом возникают хемосинтезирующие биологические формы. Не могут же, в самом деле, какие-то их личинки переноситься океаном на таких дистанциях, в это трудно поверить. Но есть и еще более удивительные вещи. У обычных морских организмов — тех же креветок — попавших в эту среду, мгновенно отмирают кислородпоглощающие органы — например, жабры. Выбирая между хемосинтезом и фотосинтезом, эти организмы отдадут предпочтение хемосинтезу, потому что при таком выборе получают солидный энергетический выигрыш.

Разделение труда появилось не при капитализме. Его выдумали многоклеточные организмы

На сцену выходят метазоа

Вернемся к нашей биогеохронологии. Существеннейший вопрос — когда планету заселили многоклеточные организмы (метазоа, или медузоподобные)? Именно в этот момент произошел важный эволюционный скачок. До него одноклеточному организму приходилось заботиться сразу обо всем — о питании, дыхании, защите, движении... У многоклеточных же тел появились отдельные органы, отвечающие за ту или иную функцию. Принято считать, что время многоклеточных пришло 750 млн лет назад. Но существуют и вполне серьезные находки, делающие их почти в два раза старше. Выявить истину тут довольно трудно, потому что следы этих организмов практически не встречаются — у них не было скелета, а мягкие ткани отпечатываются в осадках крайне редко. У тех же метазоа, отпечатки которых находят в отложениях, сформировавшихся около 650 млн лет назад, уже был, по-видимому, хитиновый покров. Это, конечно, не панцирь в привычном понимании, это все те же внешние ткани, но при этом значительно более уплотненные. В общем, об этой трудности в нашем научном путешествии следует помнить — до появления скелетов возможность сохранения реликтов организма ничтожно мала. В геологической летописи Земли множество начальных страниц попросту уничтожено.

Тут, впрочем, нужно сделать одну оговорку. Я вовсе не утверждаю, что весь архей и, тем более, ранний протерозой на Земле доминировала плотная метановая атмосфера. На каких-то территориях наверняка была более окисленная обстановка. И динамика не вызывает сомнений — по мере распространения гидросферы метановых струй становилось все меньше. Постепенное — на протяжении сотен миллионов лет — вытеснение этих струй привело к тому, что сегодня их доля в производстве биомассы — сотые и тысячные доли процента. Но способность к хемосинтезу и его, при определенных условиях, предпочтение по-прежнему заложены в генетическом коде живых организмов.



Детская
Энциклопедия
100 лет назад

*Т*ока жизнь могла получать только то небольшое количество кислорода, которое имелось в воде, ей нельзя было пользоваться им для каких-либо других надобностей. Запасы кислорода были слишком незначительны и должны были идти только на самое необходимое. Само собой разумеется, что этого кислорода не хватало для развития избытка тепла.

*Е*сли бы мы могли собрать всех существующих животных и внимательно рассмотреть их, то мы могли бы, несмотря на все их различие, разделить их на две большие группы. В одну группу мы поместили бы всех животных с позвоночным столбом, а в другую — не имеющих его.

Беспозвоночных животных довольно трудно разделить на отделы. Ни у кого из них нет головного мозга. Это отнюдь не значит, чтобы они не могли чувствовать. Напротив, многие из них, как, например, пчелы, очень развиты в этом отношении.

Все существующие виды позвоночных животных, начиная с рыб, могут быть разделены очень просто. Более того, возможно безошибочно указать, какой именно класс их появился первым и какой — последним. Многие упорно работающие ученые пытались распределить таким же образом и беспозвоночных, но им это не удалось.



Другое дело — организмы, получившие скелеты. Первые скелеты, как обыкновенно утверждают, можно обнаружить 600 млн лет назад, но и в этом случае, на мой взгляд, погрешность периодизации довольно велика. В процессе эволюции были перепробованы различные варианты скелетов — отдельные известковые иглы в мягких тканях, уплотненный хитиновый покров, раковины и т. д. Унифицированным скелетом в результате стала раковина. Вероятно, это случилось в конце венда — начале кембрия, когда высокая концентрация кальция в морской воде способствовала распространению, прежде всего, карбонатного скелета.

В это же время, видимо, именно скелет оказался востребованным в процессе освоения новых биологических ниш. Позже функции и форма скелетов изменились (в том числе, появились внутренние скелеты и т. д.).

Спасительный озон

Наконец, последний мощнейший фактор, повлиявший на характер эволюции, — формирование озонового слоя. Это произошло в ордовике — 450–480 млн лет назад. Озоновый слой нейтрализовал губительное для многоклеточных организмов воздействие жесткого ультрафиолетового излучения. До этого организмы существовали и развивались в очень узком диапазоне — им приходилось выбирать себе среду обитания под водой на глубине в среднем от 20 до 50 метров. Выше они погибали от ультрафиолета, глубже не хватало света, и становился неэффективным фотосинтез.

То есть полноценной эволюции, в дарвиновском понимании, не было, потому что оставались незанятыми многие ниши. А вот когда образовался озоновый слой, и орга-

Озоновый слой помог Дарвину стать великим ученым

низмы освоили все ниши — от океанского глубоководья до высокогорных областей, собственно и началась такая эволюция. Поэтому ордовик не будет преувеличением назвать этапом становления современной биосферы. Биомасса предыдущей эпохи, быть может, и превышала по своему объему современную, но она была качественно другой — бактериальной. Кстати, анализ нефтеносных отложений, с возрастом 1,2–1,4 млрд лет, делает довольно спорным известное правило В. И. Вернадского, гласящее, что биомасса в обозримой истории Земли существенно не менялась. Похоже, все-таки менялась и менялась на порядки.

Климатические качели

И, наконец, несколько слов об еще одном мощном факторе, от которого зависит характер эволюции. Я имею в виду глобальные климатические колебания — их значение трудно переоценить.

Оледенения на Земле начались около 2,2 млрд лет назад. До этого не обнаружено достоверных их следов (оледенение в конце архея — дискуссионное). Начальные оледенения были довольно слабые и эпизодические — льды накапливались в высоких широтах, не спускаясь в субтропическую область. 750 млн лет назад они стали учащаться, причем самое сильное и катастрофическое случилось как раз около этого времени. По мнению ученых, занимавшихся этим вопросом, планета напоминала тогда снежный шар и вся замерзла, покрывшись льдом. Можно предположить, что, в условиях резко нарушившегося равновесия среды, практически все живое вымерло — и на дальнейшее восстановление биологической жизни потребовался значительный срок.

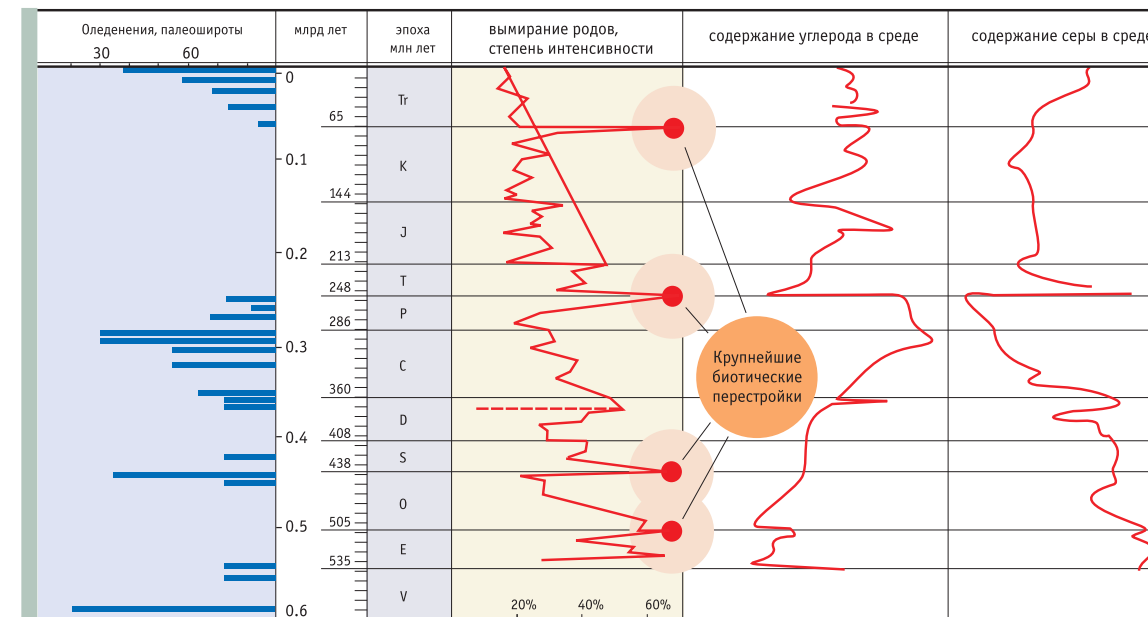
Оледенения чередовались с теплыми периодами. Вообще говоря, наша планета на протяжении последних 750 млн лет испытывает лишь два устойчивых состояния.

Первое — когда ледяной панцирь покрывает более половины ее поверхности, и второе — когда льда, в принципе, нет. Самым теплым был мезозой (250–65 млн лет назад — средняя температура тогда на 20–25 градусов превышала нынешнюю. Тропики ничем не отличались от сегодняшних, но и в полярных областях тогда тоже росли пальмы.

Оледенения вызываются целым рядом внешних (космических) и местных (земных) факторов. К внешним можно отнести позицию Земли на гелиоцентрической орбите и изменение интенсивности солнечного излучения. К внутренним — прежде всего, вулканическую активность.

Кстати, даже сегодня углекислый газ, поступающий из вулканов, на порядок больше того, что выбрасывают все земные теплоэлектростанции. На порядок! Поэтому антропогенное влияние на климат, о котором столько шумят в последние десятилетия, сильно преувеличено. Тут происходит сознательная недооценка одного и преувеличение другого — в целях получения той или иной выгоды. Это касается, например, кислотных дождей, неблагоприятно воздействующих на Европейскую часть России. Объявляют их результатом непродуманной промышленной деятельности, а на самом деле виной тому в значительной мере не промышленность, а катастрофические извержения вулканов (вроде филиппинских) — огромное количество выброшенной при этом твердой серы заносится через стратосферу к нам и благополучно превращается в кислотный дождь. А льющаяся с неба кислота, естественно, приводит к деградации большинства экосистем.

И это вечная история. В целом ряде публикаций массовое вымирание на границе мела и палеогена доказательно объясняется как раз выпадением кислотных дождей. Промышленности тогда, разумеется, никакой и в помине не было.



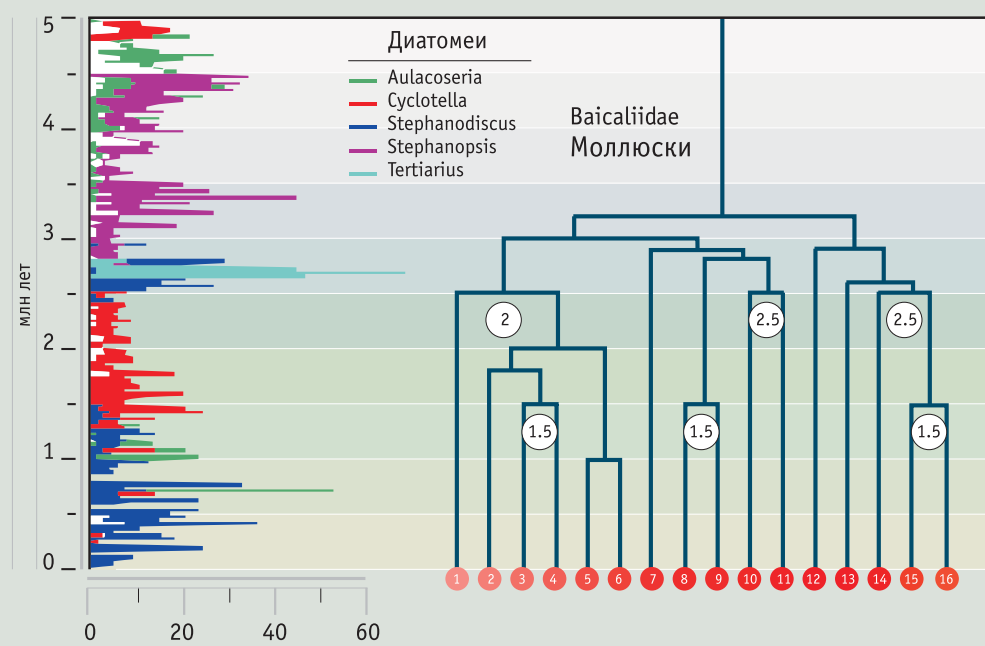
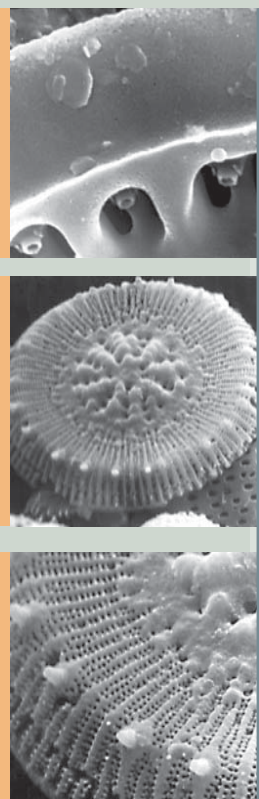
Самые резкие колебания видообразования происходили на границах теплых и холодных эпох. Они напрямую связаны также с изменением карбонатонакопления (содержание углерода в среде) и вспышками вулканической активности (содержание серы в среде)



На границах теплых и холодных эпох зафиксированы самые резкие изменения биологических видов, родов, семейств... Если мы взглянем на кривую, характеризующую видообразование (в частности, основанную на данных по вымиранию видов), то увидим, что она довольно точно соотносится с холодными и теплыми периодами в жизни Земли — интенсивное вымирание происходило именно в верхнем ордовике, на границе перми и триаса и на границе мела и палеогена.

Более того, эта кривая вполне очевидно соотносится с кривой, отражающей изменение карбонатонакопления (содержание углерода в среде), и с точностью до наоборот с кривой, отражающей динамику вулканической активности (содержание серы в среде). То есть перед нами не какие-то локальные вымирания в локальных нишах, а глобальные колебания состояния всей экосистемы.

Обезьяны в Арктике
никогда не жили.
Но пальмы там росли.
Правда, очень давно



- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1. <i>T. macrostoma</i> | 10. <i>T. nana</i> |
| 2. <i>M. bythiniopsis</i> | 11. <i>T. duthiersi</i> |
| 3. <i>P. oviformis</i> | 12. <i>M. costata</i> |
| 4. <i>P. florii</i> | 13. <i>T. ciliata</i> |
| 5. <i>L. stiedae</i> | 14. <i>B. dybowskiana</i> |
| 6. <i>K. korotnewi</i> | 15. <i>B. carinata</i> |
| 7. <i>G. godlewskii</i> | 16. <i>B. turriiformis</i> |
| 8. <i>M. herderiana</i> | |
| 9. <i>M. variesculpta</i> | |

Эволюция байкальских моллюсков по данным «молекулярных часов» в сравнении с палеонтологической летописью смены видов диатомовых водорослей

Горы растут

Кроме собственно изменения климата, движущей силой эволюции является и частота климатических пульсаций. Чем больше частота и амплитуда этих пульсаций, тем вероятнее ускорение видообразования.

Возьмем для примера наш Байкал. Это глубоководное озеро с практически неизменной в последние 25 млн лет озерной системой. А поэтому многие ученые считали, что поскольку 75 % видов водных организмов там эндемики, то это древние эндемики, появившиеся в озере 25 млн лет назад. Как бы не так! Не 25 млн, а 3 млн лет назад — это выяснилось после специального анализа с применением методов молекулярной биологии. А что случилось 3 млн лет назад? Случилось резкое похолодание. Следующий всплеск видообразования произошел 700–500 тыс. лет назад и был связан уже не столько с похолоданием, сколько с резким чередованием холодных и теплых состояний. Климат при этом «в среднем» оставался постоянным.

Горы тоже могут быть художниками. Гималаи, например, начисто переписали климатическую картину планеты



До неожиданного роста гор система была более или менее равновесной — во всяком случае, она стремилась к равновесию, то есть к выравниванию температуры разных регионов. Теперь же высокие горные гряды вызвали образование климатических «завихрений» в виде арктического вихря, монгольского антициклона или тихоокеанских тайфунов...

Или другой пример, тоже касающийся Байкала. Выяснили, что в периоды похолоданий резко усиливались ветры, и начинались пыльные бури. И вымирание многих видов происходило не столько от самого похолодания, сколько от воздействия пыли. Наземная растительность и водные приповерхностные организмы (например, диатомовые) очень чувствительны к ней. Диатомовые обыкновенно размножаются, когда тает лед, — в марте и апреле. Но если пыль закрывает лед, то ни о каком размножении речи идти не может — организмы просто погибают...

О климате, как эволюционном факторе, можно говорить бесконечно, уточняя те или иные частности, впрочем, достаточно важные.

Вот, скажем, горы. Именно сегодня их роль в формировании климата выходит на первый план. Дело не только в том, что они периодически растут, а затем разрушаются, меняя циркуляцию атмосферы. Отчего это происходит, не совсем ясно. Но новый факт — на протяжении почти всей земной истории максимальная высота гор не превышала 4-х километров. И лишь в последние три миллиона лет вдруг вымахнули вершины высотой за 8 километров. Из-за этого (особенно тут «потрудились» Гималаи) оказалась совершенно «переписана» циркуляция атмосферы и, как следствие, климатическая картина.

Как, наверное, заметил читатель, мы понемногу подобрались совсем близко к нашему времени и уж точно вернулись в наши родные географические палестины. Другими словами, краткий обзор эволюционного процесса, предпринятый на этих страницах, приблизился к своему финалу. Картинка, мне кажется, получилась очень пестрая — на ней немало успешно освоенных учеными территорий, но не меньше, пожалуй, и «белых пятен». Я очень надеюсь, что общими усилиями большинство из них нам все-таки удастся распознать.

