

К. БУНАМА
 В. ФОН БЛОХ
 З. ФРАНК

КОНЕЦ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ ЗЕМЛЯ

Сегодня нас беспокоит вызванное деятельностью человека глобальное потепление, которое в грядущие десятилетия или столетия может значительно изменить земной климат. И хотя все возможные катастрофические сценарии этого процесса внушают ужас, самый худший из них меркнет в сравнении с тем, что ждет Землю всего через несколько миллиардов лет...

По мнению ученых, через 6,5 млрд лет в ходе эволюции Солнце из звезды главной последовательности превратится в «красного гиганта» со светимостью, вдвое превышающей нынешнюю. Оно разрастется до огромных размеров и поглотит Меркурий, Венеру и, вероятно, Землю. Любые формы жизни исчезнут с нашей планеты задолго до этого времени.

Все это произойдет через невообразимо большое число лет, поэтому нам, в сущности, не стоит беспокоиться. Однако человек, по своей природе, хочет знать, что же случится даже в столь отдаленном будущем. Существует какая-то неизъяснимая притягательность в самой возможности представить себе судьбу (или конец) мира в грядущем. И в этом смысле ученые — «счастливые» люди, поскольку, рисуя картину будущего нашей планеты, они могут полагаться не только на одно воображение.

Согласно прогнозу ученых, через несколько миллиардов лет Солнце превратится в красного гиганта и будет светить в два раза ярче, чем сейчас. Сама Жизнь исчезнет с нашей планеты задолго до этого времени



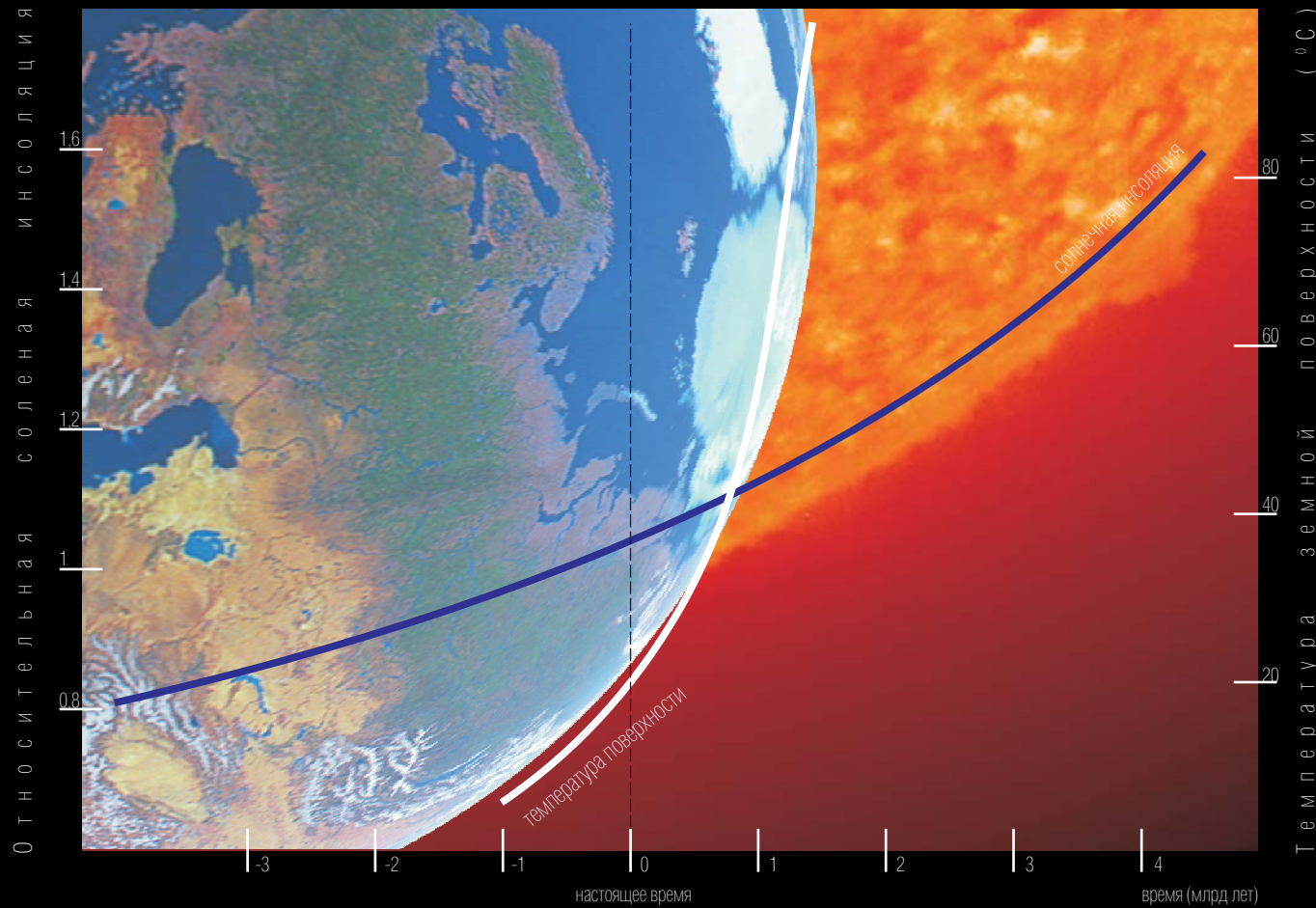
Кристина БУНАМА — геофизик, аспирантка Потсдамского института исследований климатического воздействия (Германия). Автор более 40 научных публикаций



Вернер фон БЛОХ — научный сотрудник Потсдамского института исследований климатического воздействия. Автор более 70 научных публикаций



Зигфрид ФРАНК — профессор, руководитель проекта Потсдамского института исследований климатического воздействия. Автор более 100 научных публикаций



Становясь старше, наше Солнце начинает светить ярче, нагревая Землю все сильнее и сильнее. График для средней температуры поверхности планеты составлен на основании предположения о том, что в будущем состав земной атмосферы не изменится

Основной тезис, который мы выдвигаем, состоит в том, что геологическое прошлое планеты в определенной степени может стать моделью для ее будущего (Ward & Brownlee, 2002). Конечно, с помощью этого положения можно объяснить лишь некоторые детали возможного сценария «конца света»: например, жизнь на Земле вполне может закончиться, как и началась, — одноклеточными организмами, — или в конце своего существования наша планета превратится в раскаленное безводное небесное тело и т. д.

Ясно одно: если мы хотим предсказать будущее планеты, на которой живем, и оценить время, отпущенное на существование биосферы, нам нужно научиться с высокой точностью моделировать прошлое Земли с самого момента ее рождения (4,6 млрд лет назад). Наша группа из Потсдамского института исследований климатиче-

ского воздействия разработала компьютерную модель, с помощью которой можно осуществить эту задачу.

Планетарный термостат

Климат нашей планеты определяется балансом между солнечным освещением (его величина зависит от светимости Солнца и отражательной способности земной поверхности) и излучением Земли, т. е. величиной длинноволновой тепловой радиации с ее поверхности. Большая часть этого излучения поглощается природными парниковыми газами, особенно водяным паром и двуокисью углерода, и частично отражается обратно на Землю. Поверхность Земли при этом дополнительно нагревается на 33 °С — это явление известно как природный *парниковый эффект*. Без такого дополнительного нагрева средняя температура на планете была бы

не плюс 15 °С, как сейчас, а минус 18 °С, что делало бы существование жизни на планете невозможным.

Интенсивность природного парникового эффекта зависит от состава атмосферы, который со времени возникновения Земли значительно изменился. Согласно геологическим данным, жидкая вода существовала на планете уже 4,3 млрд лет назад. Но если бы состав атмосферы в те времена был подобен современному, температура на земной поверхности была бы ниже точки замерзания воды еще 2 млрд лет назад, потому что Солнце тогда светило менее ярко. Однако на ранних этапах существования Земли в атмосфере содержалось сравнительно большое количество парниковых газов, таких как двуокись углерода и метан, благодаря чему в то время было теплее, чем сейчас.

Таким образом, можно утверждать, что благоприятные для жизни температуры на нашей планете преобладали почти на всех этапах ее истории. Почему так получилось? Оказывается, Земля «оборудована» так называемым природным термостатом, который предотвращает экстремальные климатические флуктуации. В этой роли выступает глобальный карбонатно-силикатный цикл: когда температура повышается, в действие вступает удивительный механизм обратной связи, вследствие чего из атмосферы выводится парниковый газ — двуокись углерода.

Этот механизм функционирует следующим образом: в теплом, влажном климате усиливается процесс разрушения силикатных пород (они составляют примерно 60 % от массы всех известных минералов). Атмосферный углекислый газ, растворенный в дождевой воде, вступает в реакцию с кальцием, содержащимся в известково-силикатных породах, и уже как кислый карбонат кальция вымывается в море. Там он осаждается на дно в виде известняка или в составе известковых раковин погибших морских организмов. Таким образом, в химически связанном состоянии двуокись углерода надолго удерживается в донных отложениях. Но не навсегда.

По данным геофизических исследований, земная кора представляет собой мозаику, состоящую из жестких плит, которые, подобно льдинам на поверхности воды, дрейфуют независимо друг от друга. Когда при столкновении двух плит одна плита оказывается под другой, вместе с ней в мантию Земли погружаются и известковые отложения, где они подвергаются пиролизу под действием давления и высокой температуры. Во время этого процесса происходит выветривание (разрушение) известково-силикатных пород, в результате чего двуокись углерода высвобождается, выделяясь в атмосферу в ходе вулканической деятельности. Так поддерживается всеобщее равновесие этого важнейшего компонента нашей биосферы. Но в будущем действию подобного термостата наступит предел, поскольку в любой момент диапазон изменений концентрации углекислого

газа в атмосфере может оказаться недостаточным, для того чтобы сбалансировать увеличение интенсивности излучения стареющего Солнца.

На процесс выветривания известково-силикатных пород влияют и биотические факторы. У высших растений, водорослей и лишайников, растущих прямо на скальных породах, через корни выделяются кислоты, которые воздействуют на скальные породы тем, что разрушают их поверхность. Кроме того, рост содержания углекислого газа в почве происходит непосредственно за счет корневого дыхания растений.

Голодная смерть через сто миллионов лет?

В 1982 г. британские ученые Д. Е. Лавлок и М. Уитфилд впервые попытались оценить временной ресурс биосферы с помощью качественной модели, разработанной ими на основе так называемой гипотезы Геи (греч. Gea), которая была предложена Лавлоком и Л. Маргулис за восемь лет до того. Согласно этой гипотезе, Земля представляет собой некий суперорганизм, двоякую геосферно-биосферную систему, которая на внешнее воздействие в геологическом масштабе времени способна реагировать таким образом, чтобы условия для жизни на планете оставались благоприятными.

Компенсировать растущее свечение Солнца и сохранить постоянную температуру поверхности Земли можно в том случае, если содержание двуокиси углерода как парникового газа, содержащегося в атмосфере, понизится. В какой-то момент оно опустится ниже минимально допустимой концентрации, необходимой растениям для осуществления фотосинтеза. Лавлок и Уитфилд подсчитали, что это произойдет уже через 100 млн лет, после чего всякая жизнь должна погибнуть, потому что исчезнет ее базовая форма — растения.

Однако на самом деле растения способны адаптироваться к условиям с низкой концентрацией углекислого газа и высокими температурами. Примеры адаптации подобного рода уже есть. Как известно, по способу фиксации двуокиси углерода при фотосинтезе растения делятся на две категории: растения C_3 -типа и C_4 -типа (они названы так потому, что на первом этапе фотосинтеза образуют, соответственно, трех- и четырехуглеродные продукты). Сейчас на Земле доминируют растения первого типа (к ним относятся зерновые и картофель). Но

Благоприятные для жизни температуры преобладали на Земле почти на всех этапах ее истории благодаря своеобразному природному термостату, в роли которого выступает планетарный карбонатно-силикатный цикл

поскольку растения C_4 -типа (кукуруза, просо, сахарный тростник и т. д.) могут жить в условиях с более низкими концентрациями углекислого газа в атмосфере, в отдаленном будущем они получат преимущество.

Вполне вероятно, что само появление C_4 -механизма в неродственных группах растений является формой адаптации к снижающейся на протяжении миллиардов лет концентрации двуокиси углерода. Предельное значение концентрации в 150 ppm CO_2 , на основе которого Лавлок и Уитфилд производили расчеты, относится к растениям C_3 -типа, тогда как для растений C_4 -типа эта величина составляет всего 10 ppm.

В 1992 г. два американских ученых — К. Калдейра и Д. Е. Кастинг — впервые представили количественную модель будущего Земли, в которой были учтены следующие параметры: недостаток двуокиси углерода, высокая температура поверхности и полное исчезновение воды, — при этом в качестве базового условия модели выступало наличие растений C_4 -типа.

Предположив, что вулканы будут извергать столько же двуокиси углерода, сколько сейчас, а скорость разрушения пород останется неизменной, вычислили, что биосфера просуществует 900 млн лет. Если жизнь не прекратится из-за недостатка двуокиси углерода, конец ей положит растущая температура поверхности Земли. Согласно модели Калдейры-Кастинга, температура уже через 1,5 млн лет поднимется выше 50 °C, и тогда смогут существовать лишь примитивные организмы. Через следующие 200 млн лет температура достигнет +100 °C — и исчезнут все формы жизни.

Планета без вулканов

Когда в 2000 г. наша группа из Потсдамского института исследований климатического воздействия занялась проблемой длительности существования земной биосферы, нам пришлось принять во внимание фактор, которым ранее исследователи пренебрегали. Мы сделали поправку на то, что интенсивность тектонических процессов, которые играют важную роль в процессе круговорота углерода в природе, зависит от возраста самой системы.

Дело в том, что с момента возникновения нашей планеты ее внутренняя часть постоянно остывает. Поскольку поток тепла, идущий от земной мантии, уменьшается, геодинамические процессы, которые

Будущее принадлежит растениям C_4 -типа, таким как сахарный тростник или кукуруза. Они концентрируют углекислый газ (CO_2) в своих тканях, даже если содержание его в окружающей среде очень мало, благодаря чему могут вести фотосинтез

приводят в движение этот поток, замедляются. Таким образом, и интенсивность выбросов в атмосферу двуокиси углерода не остается неизменной — со временем она будет уменьшаться. С другой стороны, интенсивность выветривания, зависящая от суммарной площади континентов, также меняется с течением времени: в ходе развития Земли она нарастала — будет нарастать и впредь. При этом массы кремнистых пород постоянно увеличиваются, подвергаются воздействию природных факторов и разрушаются.

Опираясь на оба этих фактора, мы рассчитали, что период времени, за который концентрация углекислого газа снизится до 10 ppm — предельного значения для растений C_4 -типа, — значительно короче, чем предсказали Калдейра и Кастинг: вся флора исчезнет через 500, самое позднее — через 600 млн лет.

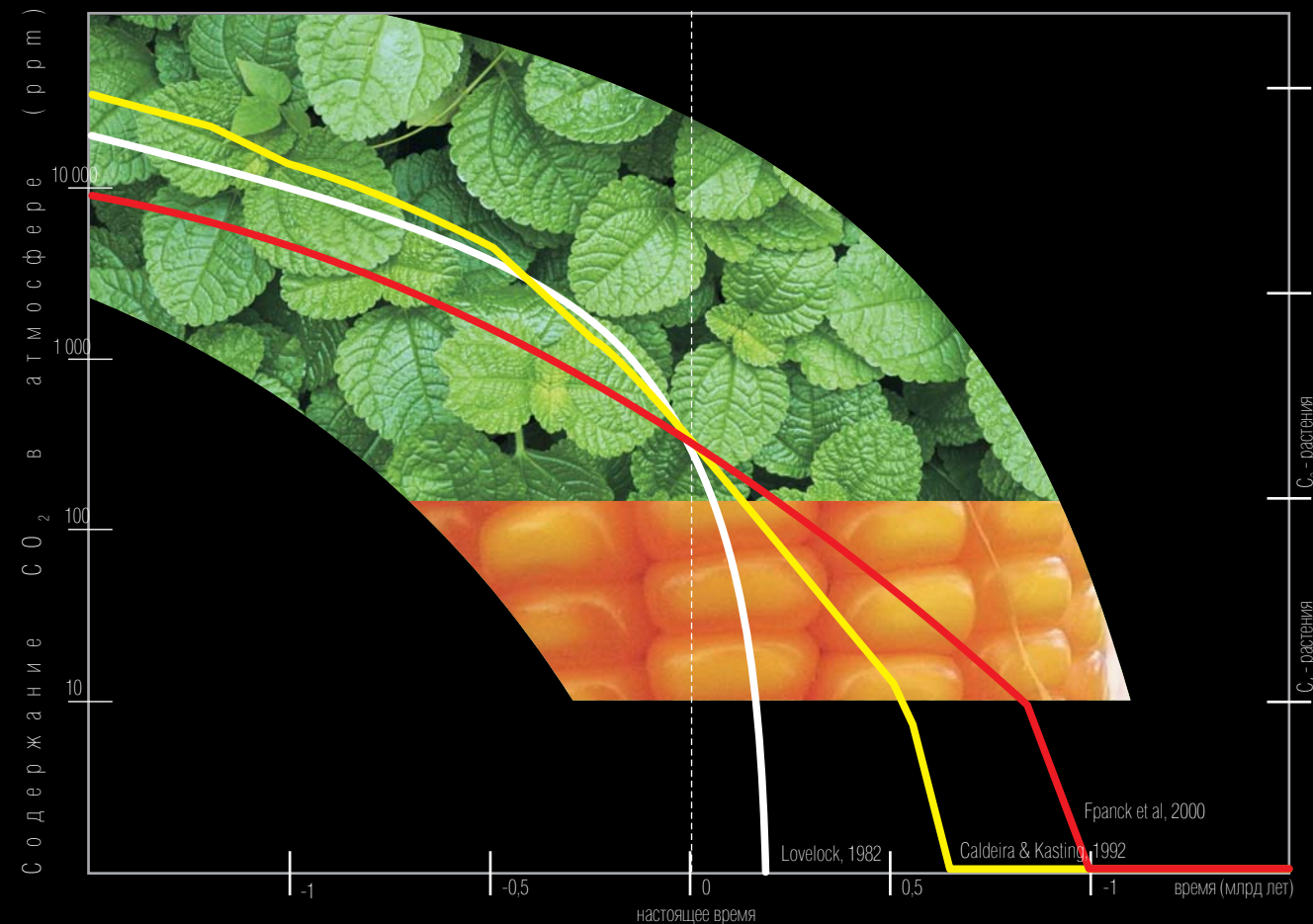
В последние годы наша группа разработала динамическую модель, где были учтены циклические процессы переноса углерода от одного источника (хранилища) к другому, которые происходят на протяжении каждого периода истории Земли. В качестве подобных хранилищ углерода в модели представлены океаны, мантия и атмосфера Земли, а также биосфера и органический углерод (*кероген*), присутствующий в горных породах.

В биосфере условно были выделены три основные формы жизни: прокариоты, одноклеточные эукариоты и высшие организмы. К прокариотам — организмам без оформленного клеточного ядра — относятся бактерии, включая фотосинтезирующие цианобактерии (сине-зеленые водоросли), а также архебактерии, многие из которых приспособлены к жизни в экстремальных условиях среды. Известно, что прокариоты были первыми обитателями Земли.

На определенном этапе эволюции появились эукариоты — организмы, клетки которых имеют ядро и цитоскелет. К ним относятся не только одноклеточные организмы, — например амеба, водоросли, но и более сложные многоклеточные формы жизни, такие как высшие растения, грибы и животные. Каждой из этих трех форм жизни, по-видимому, соответствует определенный интервал температур на земной поверхности, в котором они способны существовать и воспроизводиться. Чем, с точки зрения эволюционного развития, организм выше, тем уже интервал температур, в котором он может существовать.

Обратный отсчет

Примерно 542 млн лет назад, в начале кембрийского периода, биологическая эволюция вступила в эпоху «большого взрыва». Всего за 40 млн лет возникло огромное число многоклеточных форм жизни, произошел рывок в увеличении биомассы, появились прародители



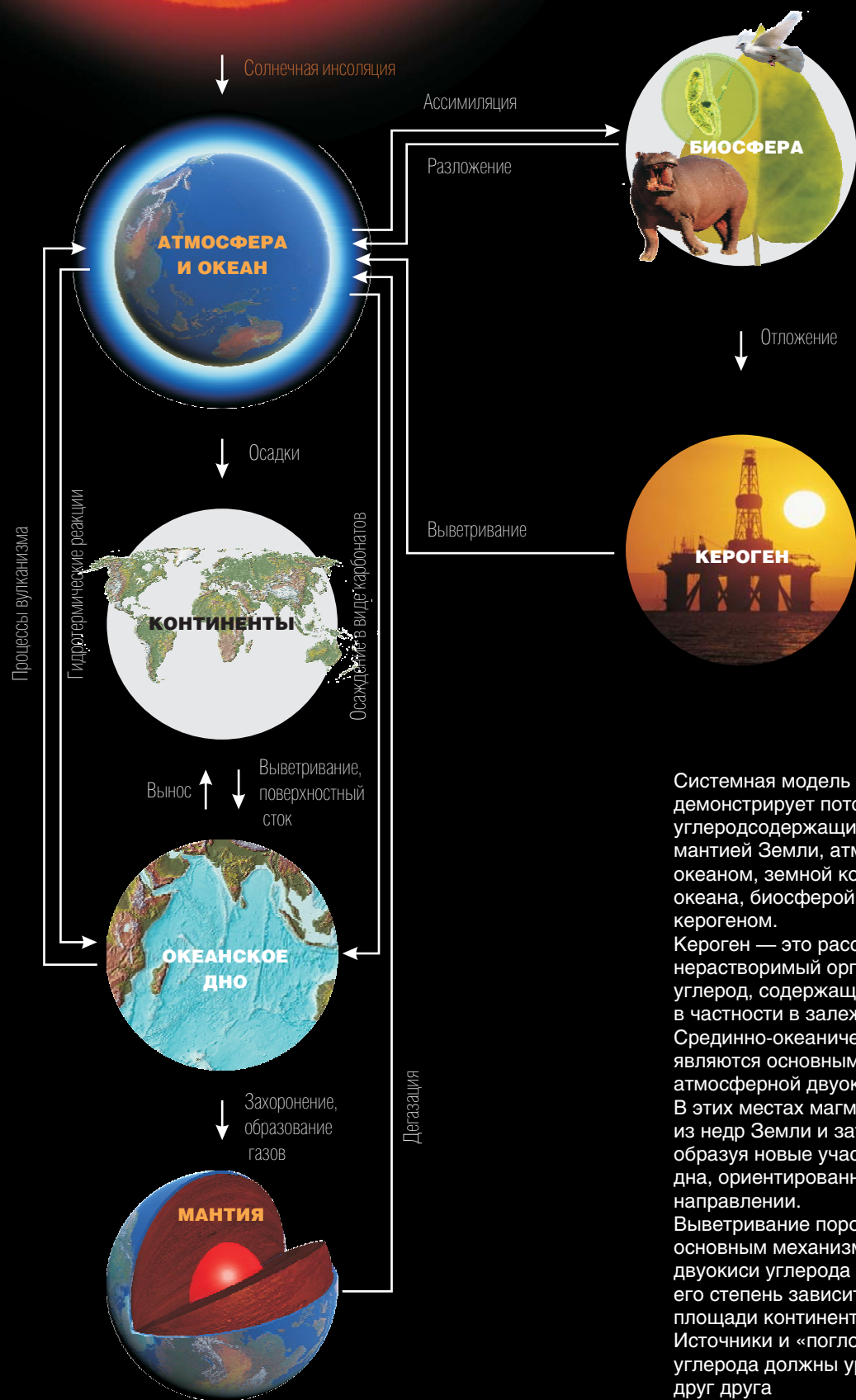
С использованием системных моделей Земли разной сложности можно получить различные результаты относительно динамики содержания углекислого газа в атмосфере, однако в них есть и общее: содержание этого столь необходимого для фотосинтеза соединения с течением времени будет неуклонно снижаться. На белом участке графика показан интервал концентрации диоксида углерода, в котором производство биомассы возможно, в заштрихованной части — только растениями типа C_4

большинства современных видов. Многие ученые связывают подобный «взрыв» жизни с тем фактом, что содержание кислорода в атмосфере было достаточным для того, чтобы мог осуществляться энергетический метаболизм.

Однако, в соответствии с нашей геодинамической моделью, ранняя история Земли была иной. В начале кембрия поверхность планеты остыла настолько, что стал возможен бурный рост сложных многоклеточных организмов. Появление растений и грибов — первых колонистов наземных ландшафтов (Neckman et al., 2001) — в свою очередь, способствовало дальнейшему охлаждению земной поверхности благодаря усилению процессов выветривания, вследствие чего парниковый газ двуокись углерода связывался с другими элемента-

ми и выводился из атмосферы. Таким образом, существовала нелинейная обратная связь между климатом и биосферой; по этой причине температура поверхности планеты снизилась настолько быстро, что возникли оптимальные условия для существования высших организмов. Несмотря на то что в нашей модели учтены только организмы, которые участвуют в процессе фотосинтеза, с ее помощью можно сделать некоторые выводы в отношении животных и человека, зависящих от фотосинтеза не только косвенно: через концентрацию кислорода в атмосфере, — но и напрямую: через пищевые цепи, — а также потому, что в известной степени их развитие шло параллельно с развитием растений.

В нашей модели точно продемонстрировано, что отмеченные три формы жизни появились последова-



Системная модель Земли, которая демонстрирует потоки между разными углеродсодержащими объектами: мантией Земли, атмосферой, океаном, земной корой, дном океана, биосферой и так называемым керогеном. Кероген — это рассредоточенный, нерастворимый органический углерод, содержащийся в породах, в частности в залежах угля и нефти. Срединно-океанические хребты являются основным источником атмосферной двуокиси углерода. В этих местах магма поднимается из недр Земли и затвердевает, образуя новые участки океанического дна, ориентированные в радиальном направлении. Выветривание пород является основным механизмом выведения двуокиси углерода из атмосферы; его степень зависит от общей площади континентов. Источники и «поглотители» двуокиси углерода должны уравнивать друг друга

тельно — одна за другой, — а затем сосуществовали. В настоящее время они заселяют Землю примерно в равных пропорциях. Придет время — и они исчезнут в порядке, обратном их появлению. Однако, по нашему мнению, маловероятно, что масштабное «свертывание» многообразия видов станет зеркальным отражением «кембрийского взрыва». Во всяком случае, в представленной модели не содержится ни малейшего намека на то, что в будущем произойдет внезапное вымирание высших организмов. Даже возмущение биосферной системы, такое как внезапный скачок температуры, не обязательно должно привести к всеобщей гибели. Система очень надежна и восстановится через короткое время.

Тем не менее, высшие формы жизни, особенно растения, в конце концов, исчезнут, несмотря на то что в нашей усовершенствованной модели им отведено больше времени на существование, чем в предыдущей. Дело в том, что процесс биогенного выветривания постепенно ослабевает, поскольку продуктивность растений, т. е. способность производить биомассу, снижается по мере роста температуры. При этом большее количество углекислого газа, которое они не использовали, остается в атмосфере, поэтому пороговый уровень концентрации для фотосинтеза будет достигнут не ранее, чем через 1,6 млрд лет. Однако средняя температура земной поверхности будет расти быстрее и поднимется до плюс 30 °С — критического для высших организмов значения — уже через 800–900 млн лет.

Таким образом, растения и животные начнут вымирать не из-за недостатка двуокиси углерода, а из-за жары. Это относится также и к прокариотам, хотя они не столь чувствительны к высокой температуре и могут вполне благополучно существовать до тех пор, пока средняя температура земной поверхности не достигнет 45 °С выше нуля, что произойдет на 300 млн лет позднее. Однако смертным приговором для этих организмов станет не наступившая жара (для прокариотов критической является температура плюс 60 °С), а снижение концентрации углекислого газа в атмосфере. Когда через 1,6 млрд лет она понизится до пороговых значений, цианобактерии больше не смогут осуществлять фотосинтез — и тогда Земля — за исключением малого количества исчезающих микроорганизмов, чрезвычайно хорошо адаптированных к экстремальным условиям, — станет «стерильной» планетой.

Сценарий конца

Таковы результаты наших расчетов. Но этапы, ведущие к исчезновению жизни на Земле, можно представить и более детально. Сначала, вследствие уменьшения концентрации в атмосфере углекислого газа, будет непрерывно снижаться уровень производства биомассы: богатая растительность станет редкой, а под лучами

необыкновенно яркого солнца поверхность планеты станет раскаленной. Постепенно растения будут вытеснены в своеобразные убежища (пещеры, низины), но, в конце концов, и те превратятся в необитаемые. Некогда плодородные земли с изобилием зелени поглотит сплошная серо-коричневая пустыня.

Почвы, которые формировались и существовали за счет растений, подвергнутся мощной эрозии: стремительные потоки воды будут смывать их и уносить в океан, оставляя за собой лишь голые скалы. Последние оставшиеся из высших животных, которые смогут приспособиться к экстремальным условиям жизни, по мере разрушения пищевой цепочки станут все сильнее страдать от голода.

Одноклеточные организмы всегда были доминантной формой жизни на Земле, несмотря на свои ничтожные размеры. При отсутствии высших организмов вязкие студенистые образования микроорганизмов покроют скалы сплошным ковром. Но через сотни миллионов лет благодаря возрастающей температуре и они разделят судьбу наземных растений.

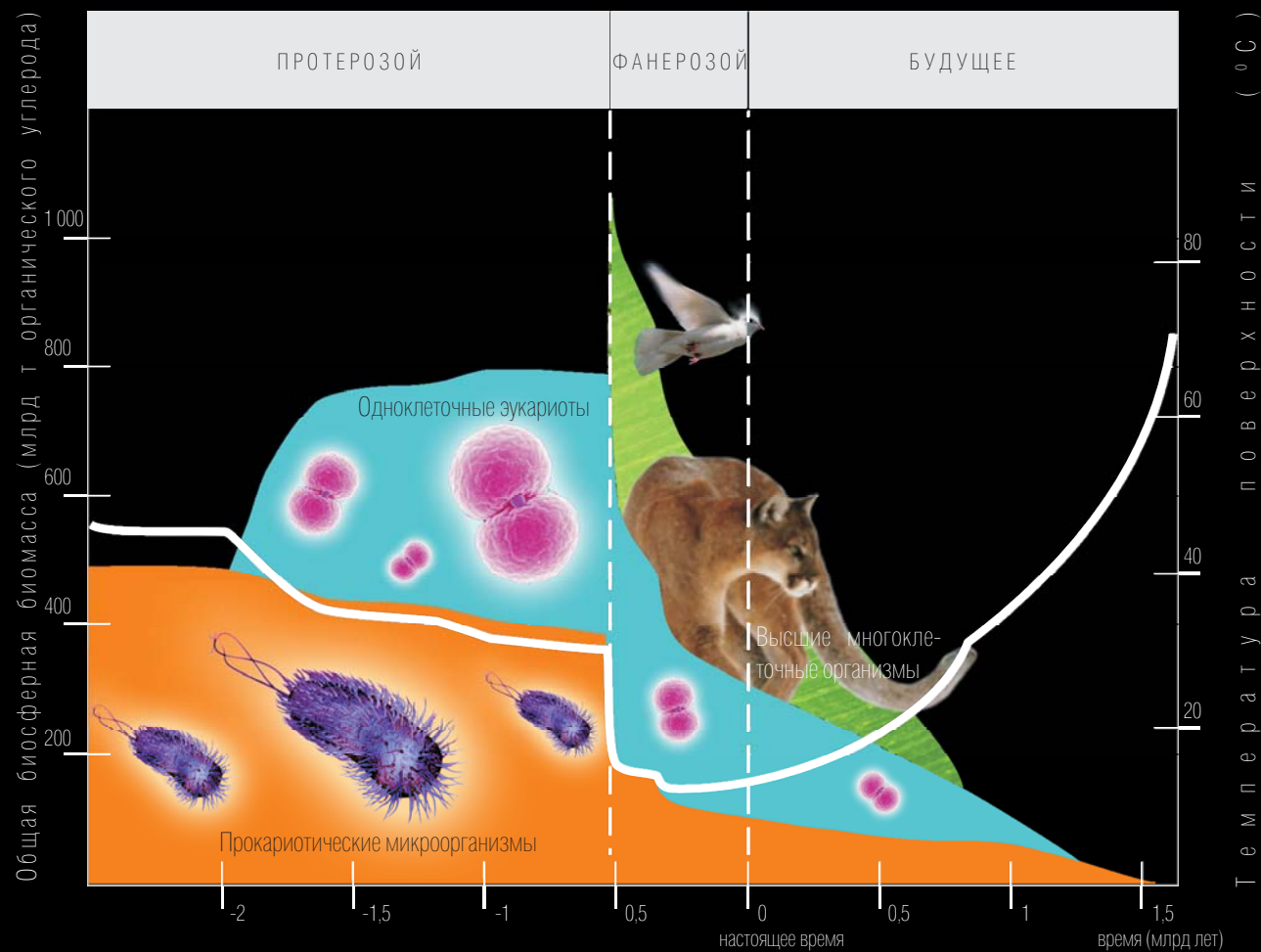
Борьба за выживание разразится и в водах мирового океана. Водоросли и другие, более сложные, водные растения, могут жить лишь в сравнительно тонком слое воды у поверхности, куда проникает достаточное количество солнечного света. Но приповерхностный водный слой будет замутнен взвесью вещества, смываемого в океан с континентов, и очень быстро нагреется. Только те организмы, которые смогут адаптироваться к жизни на больших глубинах в темноте и под большим давлением, проживут еще какое-то время, питаясь оседающим органическим веществом.

Дополнительным фактором, способствующим снижению массы водорослей, станет истощение запасов минералов, в частности фосфатов и нитратов, которые нужны для их роста. В настоящее время необходимые минералы поступают в воду (выносятся в море реками) из разлагающихся наземных растений и эродирующих почв, но наступит время, когда наземные растения вымрут, а почвы будут смыты.

На определенном этапе верхний слой воды в океане нагреется до такой степени, что оставшиеся эукариотические водоросли, которые выживали несмотря на недостаток минералов, погибнут. Это обречет на гибель и те формы жизни, которые прямо или косвенно питались этими водорослями.

К соляным пустыням и океанам магмы

Примерно через 1,3 млрд лет на поверхности континентов и океанов будут жить только примитивные одноклеточные прокариоты. Единственным местом, где сохранятся приемлемые для высших организмов



Используя динамическую системную модель Земли, авторы оценили будущее разных биосферных групп при ожидающемся изменении температуры земной поверхности. По мере роста температуры сначала исчезнут высшие организмы, животные и растения, затем — одноклеточные эукариоты (простейшие, грибы); дольше всех продержатся наиболее просто устроенные одноклеточные прокариотические организмы (бактерии), но в конце концов, и они погибнут: Земля станет «стерильной» планетой

температуры, окажутся океанские глубины. Возможно, там выживет несколько видов организмов, способных питаться бактериями, но тем самым жизни будет дана последняя отсрочка.

В результате интенсивной эрозии рельефные поверхности континентов станут совершенно плоскими. Примерно через 1,6 млрд лет средняя температура на Земле поднимется до плюс 60–70 °С, а уровень двуокиси углерода в атмосфере, а затем и в океанах понизится.

В подобных условиях (возможно, за счет хемосинтеза) сможет выжить лишь несколько видов микроорганизмов, способных переносить экстремально высокие температуры и отсутствие CO₂ или солнечного света.

Однако вскоре мелководные и теплые океаны, которые к тому времени займут огромную площадь, начнут испаряться. Влажность воздуха будет постоянно расти; при этом нужно учитывать то, что водяной пар — очень «эффективный» парниковый газ. Интенсивные пар-

никовые явления будут наблюдаться до тех пор, пока океаны не высохнут окончательно, оставив после себя гигантские соляные равнины. Температура достигнет уже примерно 250 °С выше нуля. Некоторые уникальные микроорганизмы, возможно, и смогли бы адаптироваться к этому своеобразному раскаленному аду, но только не к отсутствию воды: когда вода в океанах испарится, жизнь на Земле исчезнет.

Пока поверхность нашей планеты будет разогреваться, ее внутренняя часть продолжит остывать, вследствие чего тектоническая активность начнет ослабляться, а вулканическая деятельность — затухать. В конце концов, «дрейф» континентов прекратится, потому что дно океана, которое станет слишком сухим и жестким, будет не способно деформироваться и «вдвигаться» под континентальные плиты. Углекислый газ, все еще в значительном количестве выделяемый мантией, станет накапливаться в атмосфере, способствуя повышению уровня парникового эффекта, создаваемого водяным паром. Температура начнет расти еще быстрее.

В верхних слоях атмосферы под действием мощного солнечного излучения молекулы воды распадутся на водород и кислород. Водород «уйдет» в космическое пространство, поскольку земная гравитация не сможет удерживать его на поверхности Земли; кислород окислит железо, которое содержится в скальных породах, в результате чего наша планета станет красной, подобно Марсу. Через 3,5–6 млрд лет Земля может разогреться настолько, что даже скальные породы начнут плавиться: когда температура поверхности превысит 1 000 °С, на планете образуются океаны магмы.

В ходе трансформации Солнца в красного гиганта радиус нашего светила примерно через 7,8 млрд лет будет равняться радиусу современной орбиты Земли. Поглотит ли оно Землю, как до этого поглотило Меркурий и Венеру, — этот вопрос остается открытым.

Сильный «солнечный ветер» будет способствовать тому, что Солнце потеряет значительную часть своей массы и, соответственно, гравитационной силы, следовательно, Земля сможет удалиться от него на расстояние, почти в два раза превышающее современное. И на что тогда будет похожа наша родная планета, никто пока не может даже предположить...

Примерно через 1,3 млрд лет на поверхности континентов и океанов будут жить только примитивные одноклеточные организмы. Тем самым Жизни будет дана последняя отсрочка...

Сто миллионов лет для человечества

Н. Л. Добрецов, академик РАН, д. г.-м. н.,
председатель Сибирского отделения РАН

Прогноз отдаленного будущего нашей планеты, основанный на результатах исследования достаточно сложной и правдоподобной системной модели Земли, который представили наши немецкие коллеги, — пожалуй, один из лучших, известных мне. Тем не менее надо осознавать, что в любом случае все подобные прогнозы пока очень приблизительны. По понятным причинам в используемых моделях могут быть не учтены многие важные факторы. Например, в представленной модели не учтен еще один потенциальный источник углерода — метан, запасы которого содержатся в газогидратах, своеобразных газовых «консервах». А ведь судя по последним данным, эти запасы огромны и превышают объемы разведанных запасов угля, нефти и газа вместе взятых.

Кероген, т. е. углерод, содержащийся в органическом топливе, при окислении может «съесть» весь свободный кислород. Этот процесс может либо усилить, либо смягчить парниковый эффект: все зависит от темпов и «химии» превращений, которые при этом будут происходить.

В представленной модели достаточно упрощена и предыдущая история живых существ, касающаяся появления и соотношения разных форм жизни — прокариотов, эукариотов, высших организмов.

Конечно, в действительности ситуация более сложная. Например, снижение температуры поверхности, указанное на графике, реально было отмечено в венде, около 700 млн лет назад, когда произошло сильное оледенение, а многоклеточные организмы появились, очевидно, много раньше. На границе же палеозоя, т. е. около 500 млн лет назад, наблюдались дальнейшие эволюционные скачки в развитии высших организмов, выразившиеся в появлении скелета, новых органов размножения и т. д. Тем не менее все прогнозы относительно исчезновения высших растений и других организмов в будущем, сделанные на основе данной системной модели, вполне правдоподобны. Но на самом деле нас, конечно, больше волнуют прогнозы относительно будущего самого человечества. Естественная история людей, т. е. гоминидов, насчитывает примерно 5–7 млн лет. Согласно модели, человечество может просуществовать еще, по крайней мере, около 100 млн лет, если само себе не навредит. Это вполне благоприятный прогноз.

В целом же результаты исследования системной модели нашей планеты, пусть во многом и приблизительные, наводят на ряд размышлений. Безусловно, они будут интересны всем, кому не безразличны вопросы происхождения жизни, эволюции и будущего нашей биосферы.