Космонавты американского космического корабля «Аполлон» говорили, что, когда они были на Луне, Земля с голубой водой и белыми облаками была для них самым манящим объектом из всех, которые они могли наблюдать на небе. Их пристрастие понятно. Они знали из личного опыта, на что похожа эта планета, и могли перевести вид облаков, океанов и континентов в свой повседневный опыт—скажем, в морской бриз, накатывающий волны на освещенный солнцем берег.

Вероятно, то, что больше всего нравится людям на Земле, даже если они не могут выразить этого словами,— это картина постоянного движения. На Земле покой заметен благодаря своей редкости. Движение всюду — от постоянного смещения песчинок в дюнах, движения бактерий и других форм жизни до мощных колебаний в самой Земле, когда она дрожит во время землетрясения и после него.

Эта планета активна. В самом деле, она активна уже 4,6 млрд.-лет и не видно никаких признаков успокоения. Земная атмосфера, океаны, тонкая кора и глубокие недра находятся в движении с тех пор, как образовались. Жизнь является составной частью поверхности по меньшей мере в течение 4/5 истории планеты.

В процессе постоянной активности Земля в своей эволюции прошла через разные стадии, сохраняя в течение всего времени состояние динамического равновесия. Равновесие включает в себя обмен веществом и энергией между недрами, поверхностью, атмосферой и океанами. Исследования в области геологии с привлечением результатов геохимии, геофизики и палеонтологии показали, как происходила эволюция поверхностных слоев Земли. Эти знания, объединенные с устоявшейся теорией внутреннего строения Земли и гипотезами о движении внутренних слоев Земли, поставляют сведения для построения теории эволюции планеты.

Статья Камерона (см. «Образование и эволюция Солнечной системы») описывает процесс возникновения Земли и других планет путем конденсации определенных областей солнечного протопланетного облака. Первоначальное строение протопланетного облака и его структура в более поздний период выводятся из строения земных горных пород, горных пород, доставленных на Землю с Луны, метеоритов и атмосфер Земли, Марса, Венеры и Юпитера.

Появлению теории развития Земли больше всех способствовали исследователи, изучавшие постепенную конденсацию и аккрецию твердой планеты по мере того как она увлекала огромны^ .. ..'ичества малых частиц из протопланетного диска, из которого обра-зовалась-теперешняя Солнечная система. Так как планета росла, она начала нагреваться в результате совместного действия гравитационного сжатия, столкновений с метеоритами и нагревания, вызванного радиоактивным распадом урана, тория и калия, (Хотя калий обычно не считается радиоактивным элементом, 0,01 °/о этого элемента на Земле является радиоактивным изотопом калия-40.) В результате внутренние слои расплавились. Процесс расплавления можно назвать «железной катастрофой»; он включал в себя обширную перестройку всего тела планеты. Расплавленные капли железа и сопутствующих ему элементов оседали к центру Земли и там образовали расплавленное ядро, которое остается в значительной степени оасплавленным и сегодня.

По мере того как тяжелые металлы оседали к центру, легкие «шлаки» всплывали наверх — к внешним слоям, которые в настоящее время составляют верхнюю мантию и кору. Возникновению более легких элементов, таких, как алюминий и кремний и два щелочных металла, натрий и калий, сопутствовало образование радиоактивных тяжелых элементов урана и тория. Объяснение возникновения этих тяжелых элементов лежит в механизме, посредством которого атомы урана и тория образуют кристаллические соединения. Размер и химическое сродство атомов препятствуют тому, чтобы они образовывали плотные, компактные структуры, которые являются устойчивыми при высоких давлениях, существующих в глубоких недрах Земли. Следовательно, атомы урана и тория были «выжаты» и вынуждены переселяться вверх, в область верхней мантии и коры, где они легко подошли к более открытым кристаллическим структурам силикатов и окислов, находящихся в горных породах земной коры.

По мере того как внутри Земли произошла дифференциация на ядро, мантию и кору, вещество в верхних областях также расслаивалось на разные фракции, *i* Нижние слои коры состоят из базальтов и габбро — темных горных пород, в состав которых входят кальций, магний и соединения, богатые железом, главным образом силикаты. Они образовались в результате частичного расплавления и разделения более плотных веществ верхней мантии. Базальт и габбро сами подверглись дифференциации в результате кристаллизации и частичного плавления и так же, как более легкие жидкие вещества, были выдавлены через кору. В верхних слоях коры и на поверхности они затвердевали и образовывали такие более легкие горные породы вулканического происхождения, как гранит, обогащенные кремнием, алюминием и калием.

Вопрос о том, в какой степени эти процессы были завершены на ранней стадии, по мнению автора, остается нерешенным. Некоторые геологи утверждают, что значительная, а возможно, и большая часть гранитной коры была образована уже на этой стадии. Другие считают, что процесс мог едва начаться даже через 1 млрд. лет после образования Земли.

Одним из результатов разогревания внутренних слоев явилось начало вулканической деятельности и горообразования. Они привели не только к изменению формы поверхности, но и к громадным изменениям в строении внутренних слоев. В течение этого времени различные газы, которые вошли в состав планеты, когда она образовалась в результате аккреции, начали искать путь к поверхности. Среди них были углекислый газ, метан, водяной пар и газы, содержащие серу. Газы должны были течь к поверхности особенно интенсивно в период перестройки и дифференциации. Они оставались на поверхности, так как сила тяжести на Земле была достаточной для того, чтобы помешать всем газам, кроме самых легких (водорода и гелия) , уйти в окружающее пространство. Температура в то время должна была быть достаточно низкой и допускала конденсацию воды. Растворяясь в воде, другие газы вступали в химические реакции с такими элементами, как кальций и магний, которые выщелачивались из горных пород, когда выпадение дождей начало приводить к выветриванию. Если бы температура была выше, наличие плотной атмосферы с большим содержанием углекислого газа привело бы к установлению так называемого «парникового эффекта», который, по-видимому, возник на Венере, что привело к образованию горячей облачной атмосферы этой Планеты (с^. «Венера» Э. и Л.Янгов).

^По мере того как остывала поверхность Земли и в результате конденсации воды образовались океаны, процессы эрозии под действием ветра и воды начали действовать в основном так же, как они действуют и сейчас. Жидкая вода стала преобладающей формой переноса и перераспределения продуктов выветривания гор. Речные системы на поверхности являются видимыми следами сети, которая несла продукты выветривания к океанам, где большая их часть скапливалась в виде наносов осадочных отложений вдоль континентальных шельфов и континентальных выработ^^) Остатки осадочных отложений в результате оседания и движений мутьевых потоков распределились тонким слоем глубоко на дне океанов.

Некоторые геохимики и геофизики рассматривали несколько по-иному цепочку событий, которые привели к аккреции Земли из конденсирующегося солнечного протопланетного облака. В соответствии с этими воззрениями Земля и другие планеты являются продуктами постепенной конденсации солнечного протопланетного облака, в течение которой определенные тяжелые элементы, главным образом железо, кристаллизовались .первыми, в то время как более легкие части протопланетного облака находились еще в газообразном состоянии. В процессе аккреции ядро планеты будет обогащено железом в центре, а более легкие фракции будут располагаться последовательно в порядке, соответствующем порядку их кристаллизации из газа, собирающегося во внешних чаях по мере роста планеты.

Каков бы ни был механизм аккреции, история эволюции Земли на более поздней стадии (после первого миллиарда лет) в основном может быть восстановлена по записям,

которые содержат в себе горные породы коры. То, о чем они свидетельствуют, лучше всего может быть рассказано языком геологических «часов», которые начали идти в докембрийские времена. Наиболее старые из известных в настоящее время горных пород—это метамор-физованные осадочные и вулканические. горные породы, которым по содержанию радиоактивных элементов может быть приписан возраст около 3,7 млрд. лет. Они еще старше, чем очень старые горные породы, относящиеся к периоду времени, известному в геологии под названием архейского. Считается, что горные породы, относящиеся к этому периоду, имеют возраст более 2,2— 2,8 млрд. лет (возраст границы с более молодыми геологическими эпохами меняется в разных частях районов Земли с древними горными породами). Большинство «записей», содержащихся в горных породах, отрывочны, но они реальны, и никому больше не приходится полагаться на одни лишь соображения правдоподобия теории^

Оказывается, что горные породы архейской эры несколько отличаются от пород последующих периодов в том смысле, что в это время были распространены определенные их типы, а многие другие типы относятся к более поздним периодам. Среди архейских пород преобладают базальты и андезиты — вулканические породы, богатые железом и магнием при недостатке натрия и калия и относительно низком содержании кремниевых соединений. Песчаники и сланцы архейской эры образовались в результате выветривания и переработки этих вулканических пород. Здесь отсутствуют большие тела из гранита — породы, более богатой щелочами и кремниевыми соединениями. Такие отклонения в строении по отношению к более поздним породам наводят на мысль, что выделение гранитных пород в результате кристаллизации и частичного плавления пород с меньшим содержанием кремния продвинулось не настолько далеко, как это произошло позднее.

Архейские породы служат также подтверждением того, что характер тектонических явлений, т. е. горообразовательная активность, которая определила форму поверхности, отличался от современного. В настоящее время принято, что тектонические явления связаны с существованием больших плит литосферы (которая включает в себя кору и часть верхней мантии), движущихся над астеносферой (горячим, пластичным и, вероятно, частично расплавленным слоем мантии). Движущей силой являются движения в мантии, хотя точная природа этого движения • не определена. Геологическая активность землетрясений, вулканов и горообразования концентрируется вдоль границ плит.

Считается, что архейские породы очень рассеяны и дают мало информации, однако изучение наиболее старых архейских площадок в Канаде и площадок такого же возраста в Африке и Скандинавии не подтверждает того, что горообразование происходило там вдоль границ больших плит. Это подтверждает модель интенсивной деформации вдоль границ неправильных площадок гораздо меньшей протяженности, чем плиты. Многие геологи подозревают, что архейский период был временем, когда литосферная кора была очень тонкой, временем активной вулканической деятельности и столкновений между множеством маленьких тонких «плиточек» с возникновением «швов», или поясов сморщивания, спаивающих их вместе.

Хотя архейская эра заметно отличалась от современной тектоническим стилем и средним строением вулканических пород, она была похожа на современную всеми существенными процессами эрозии и осаждения на поверхности. Все отличительные признаки выветривания, механической переработки пород, переноса реками и осаждения в областях, где кора постепенно понижается и допускает скопления больших толщин осадочных пород, обнаруживаются в осадочных породах архейского периода. Это было показано более 30 лет назад Петтенд-жиллом из Университета Джонса Гоп-кинса, который изучал ранние докемб-рийские осадочные породы в районе озера Верхнее. Глядя на эти песчаники, сланцы и конгломераты, трудно найти какое-нибудь заметное различие между ними и относящимися к более позднему периоду, так как все это — затвердевшие эквиваленты современного гравия, песка и глины.

В настоящее время в эрозии и химическом разрушении пород принимают участие земные растения. Однако известно, что высшие растения на суше возникли не ранее чем через 2 млрд. лет после архейского периода, т. е. в середине палеозойской эры. Вероятно, до того, как возникли растения, на суше существовали более низшие формы, так же как они, несомненно, существовали и в море.

Доказательство существования морских водорослей в позднюю до-кембрийскую эпоху было получено несколько лет назад, когда палеоботаник Баргхорн из Гарвардского университета, работающий вместе с Таймером, специалистом по осадочным породам из Университета штата Висконсин, обнаружил микроскопические остатки морских водорослей в кремнистом сланце из Ганфлинта — плотной осадочной породе, состоящей из кремнезема. По содержанию радиоактивных элементов и периоду их полураспада было установлено, что возраст этого сланца порядка 2 млрд. лет. После этого другие органические структуры, которые похожи на остатки организмов, были обнаружены в еще более старых породах. Самая старая из них — кремнистый сланец из Свазиленда (Африка) — имеет возраст около 3,4 млрд. лет.

Эта работа по поиску свидетельств древней жизни является кропотливым трудоемким процессом. Тысячи образцов пород должны быть распилены на сверхтонкие пластины, а затем отполированы для того, чтобы их можно было изучать под оптическим и электронным микроскопами. Хотя органический углерод был обнаружен в старых породах задолго до открытия в упомянутых выше кремнистых сланцах, можно всегда предположить множество простых химических механизмов для объяснения этого. Полученное недавно доказательство существования характерных форм клеточной жизни в древние времена трудно опровергнуть.

Теперь о том, как возникла жизнь на Земле. Это рассказ о правдоподобных химических механизмах, которые следуют из определенных предположений о раннем химическом составе поверхности. Можно начать с возникновения ранней архейской атмосферы (образовавшейся в результате выхода газа из внутренних слоев), в которой преобладали вода, метан и аммиак. Свободный кислород отсутствовал, так как он является продуктом жизни, а не предшественником ее; Атмосфера могла также включать в себя заметные количества углекислого газа.

Существование и характер этой атмосферы связаны с тем фактом, что Земля меньше Юпитера и больше Луны. Юпитер способен удержать свой водород, который был самым обильным элементом в солнечном протопланет-ном облаке. Луна не могла удержать никакого газа

В воздушной оболочке Земли и под ней в поверхностных слоях моря и больших озерах было интенсивным ультрафиолетовое излучение Солнца. Поверхность не была защищена от ультрафиолета слоем озона, как сейчас, за неимением кислорода (02 ), из которого образовался бы озон (С)з). Высокая энергия ультрафиолетового излучения способствовала синтезу множества органических соединений, например аминокислот. Возможно, многие из этих соединений уже существовали там, поскольку теперь известно, что многие простые органические соединения присутствуют в межзвездном пространстве.

Однако синтез недолговечных органических соединений — это не то же, что возникновение жизни. Следующими шагами должен быть рост больших молекул и затем нуклеиновых кислот, который в конечном итоге приведет к возникновению генетического механизма воспроизведения, так что клетки могут делиться и порождать новые клетки, подобные им самим.

Нельзя точно сказать, каков должен быть диапазон химических условий, необходимый для поддержания жизни. (Неопределенность может быть уменьшена в результате полета американских космических аппаратов, которые должны были опустить на поверхность Марса в 1976 г. сейчас известно только, что Земля поддерживает жизнь, и это обстоятельство обязано продолжительному существованию жидкой воды. В настоящее время Земля является единственной планетой, про которую известно, что она удовлетворяет этому условию. Постоянно обнаруживаемые следы жизни на Земле, относящиеся по крайней мере к последним 3,5 млрд. лет, показывают, что жидкая вода имелась в течение всего этого времени.

Когда возникла жизнь, она начала оказывать важное влияние на поверхность Земли и газовую оболочку, окружающую ее. В формации Биттер Спрингс, расположенной в центральной Австралии, которой немного меньше 1 млрд. лет, палеоботаники обнаружили клеточные морские водоросли, подобные по многим геометрическим характеристикам сине-зеленым водорослям. Современные сине-зеленые водоросли, как и все другие фото-синтезирующие растения, выделяют кислород. К концу протерозойской эры, которая лежит между архейским периодом и началом палеозойской эры, в атмосфере должно было накопиться достаточное количество кислорода для поддержания эволюции высших организмов. Они были многоклеточными, т. е. живыми организмами, имеющими много клеток с различающимися характеристиками. Оказывается, всем этим организмам необходимы по крайней мере небольшие количества свободного кислорода для их биохимических процессов.

Кислород не является единственным атмосферным газом, возникшим при наличии жизни. В незначительных количествах присутствует, например, метан. По-видимому, его источником первоначально являлись метанообра-зующие бактерии, выделяющие обильно «болотный газ». Атмосфера также включает в себя другие газы, которые являются скорее продуктами деятельности биосферы, чем более простых небиологических химических реакций.

Протерозойская эра была временем, когда мир был населен бактериями, морскими водорослями и другими примитивными одноклеточными организмами, которые, вероятно, существовали и на суше, и на море. Их влияние на процессы, происходящие на поверхности, видно на протерозойских породах. Наиболее характерно это для стро-матолитов—формаций горных пород, состоящих из известковых выделений нитевидных водорослей и осадочных пород, задержанных ими. Строматолиты в настоящее время обнаружены в таких местах, как Багамские и Бермудские острова, где известняки лежат внизу на абиссальных равнинах. Другое свидетельство протерозойской жизни обнаружено в нескольких угольных пластах, образованных массами пропитанных углеродом остатков водорослей.

Если бы наблюдатель посмотрел вниз на Землю с искусственного спутника в протерозойское время, он описал бы ее поверхность так же, как наблюдатель, находящийся в подобной ситуации, сделал бы сейчас. Только прибор для определения химического состава атмосферы смог бы обнаружить какие-то различия. Доказательством этого подобия служат протерозойские породы, которые принадлежат к тем же типам и имеют тот же состав, что и породы всех более поздних периодов.

К поздней протерозойской эпохе система Земля — Луна после изменений, имевших место в начальный период, превратилась в основном в ту систему, которую мы видим в настоящее время. Приливы должны были быть несколько выше, чем сейчас, но отличие было небольшим. Примерно в то время, когда Луна стала холодной, длительный нагрев и дифференциация верхней мантии Земли и коры привели к интенсивному захвату больших тел гранитных пород и к образованию опоясывающих горных цепей, источником которых, как предполагают, является тектоника плит.

Из анализа как протерозойских, так и более поздних пород получены данные о периодических изменениях знака магнитного поля Земли, происходивших в течение большей части ее истории. По мере того как нагретая порода остывает, она намагничивается в направлении магнитного поля Земли, и силовые линии вмораживаются, когда порода отвердевает. Кроме того, определенные осадочные породы, которые содержат намагниченные частицы, сохранили, направление поля тех времен, когда они отлагались. Причины перемен лежат в нестабильности движений в жидком ядре, которые генерируют магнитное поле Земли.

Палеомагнитные данные рассказывают также и о движении полюсов. Это не означает, что северный и южный полюсы движутся; наоборот, детали поверхности Земли сдвигаются относительно полюсов. Этот вывод, подкрепляемый палеомагнитными данными, основан на геологических записях древнего климата, таких, как угольные пласты в полярных районах и ледниковые отложения вблизи экватора.

Оказывается, что в протерозойское время около южного полюса находился большой континент, и основным процессом, определяющим палеогеогра-фию, был его дрейф.

Породы хранят свидетельства о периоде главной ледниковой эпохи, первой, существование которой твердо доказано. Эти свидетельства оказываются недостаточными для точного установления возраста этого ледникового периода. Неизвестно, имел ли он ту же длительность, что и недавние (плейстоценовые) ледниковые периоды, состоял ли он так же, как и они, из многих эпизодов, когда ледники наступали и отступали. Можно лишь предположить, что механизмы, подобные тем, что приняты для ледниковых периодов плейстоцена, являются общими: это движение континентальной массы, лежащей у одного из полюсов и ограничивающей способность океана и атмосферы распределять тепловую энергию равномерно по сфере. Для внешнего наблюдателя Земля в то время выглядела немного похожей на Марс, за исключением того, что на экваторе уже были океаны. Один из интересных вопросов относительно ледниковых эпох Земли состоит в следующем: почему на Земле установилось тепловое равновесие при такой температуре, которая достаточно низка для того, чтобы образовались большие полярные шапки, но слишком высока для полного замерзания всей поверхности ?

Точно так же, как история человечества сливается с его предысторией, последние 570 млн. лет истории Земли (начиная с палеозойской эры) связаны с 9/10 продолжительности ее предшествовавшей эволюции, которая долгое время оставалась тайной. Более столетия последние 570 млн. лет рассматривались как геологически «известный» период; поэтому его часто называли «фанерозойским», от греческого «phaneros» — открывать. Хотя первые геологи обнаружили, что некоторые докембрийские территории поддаются картированию обычными геологическими методами, не было ископаемых, имеющих достаточное сходство с формами, существующими в настоящее время; и это делало докемб-рийский период «немым». Стратиграфическая шкала времени — исключительно детальные и точные часы — основана на быстрых эволюционных изменениях высших форм жизни, свидетельства о которых сохранились в ископаемых остатках кораллов и тысяч других видов многоклеточных организмов:

Изучающие историю Земли не перестают удивляться исключительной скорости изменений в период существования многоклеточных. 3 или 4 млрд. лет, т. е. в течение почти всей истории, Земля была населена одноклеточной жизнью. После этого не более чем за несколько сотен миллионов лет появилось фантастическое разнообразие беспозвоночных организмов. Быстро возникли все основные типы животного мира, и скоро за ними последовали сосудистые растения и позвоночных. Было ли все это случайностью, результатом удачного расположения континентов и морей, игрой окружающей среды ? Или это было неизбежным следствием возникновения кислородной атмосферы Земли в результате фотосинтеза, производимого водорослями?' Наиболее вероятным сейчас кажется, что именно эволюция атмосферы в направлении к современному уровню содержания кислорода стимулировала биологическую приспособленность. Одним из проявлений такой приспособленности было появление раковины у животных, которая служила броней, защищающей мягкие ткани от хищников, и базой прикрепления мускулов. Раковины дают нам основу для понимания последующего направления эволюции планеты и ее обитателей. Результаты палео-биологических исследований, основанные на изучении только мягких частей организмов, дали бы слишком тусклые очертания прошлого.

Раковины—это больше, чем временные метки в истории: они вызвали важные изменения в динамике внешних слоев Земли, Океаны стали населять организмы, в состав которых входили карбонат кальция, фосфат кальция и окись кремния в огромных количествах. Их остатки отлагались в осадочных породах, превращаясь в конце концов в известняк, сланец и фосфатный известняк или фосфатную породу (главный источник сельскохозяйственных удобрений).

Более точные сведения, относящиеся уже к палеозойскому периоду, позволяют геологам проследить эффекты дрейфа континентов. В частности, можно более уверенно установить очертания древнего Атлантического океана, который лежал между Европейско-Африканской массой суши и Америкой, перед тем как во времена, близкие к палеозойской эре, образовался сверхконтинент Пангея. Образование Панеи было одним из редких, особых событий более поздней истории Земли, одним из важных возмущений более или менее гладко протекающей эволюции планеты.

Одним из главных последствий образования Пангеи было исчезновение сотен видов беспозвоночных и начало всеобъемлющих изменений в типах и относительной населенности различных видов животных и растений. Большая часть пространства, занятого мелкими отмелями, окружающими каждый континент, исчезла, когда континенты столкнулись, оставив только узкую полосу вокруг сверхконтинента. Отмели служили убежищами наиболее продуктивного биологического населения палеозойского мира. Географическое сжатие и совпадавшие с ним климатические изменения, включая оледенения тех частей, которые теперь являются Африкой, Австралией и Южной Америкой, были достаточны для исчезновения многих видов. Выжившие закладывали основы новых видов послепа-леозойского мира.

Пангея раскололась в триасовый период (самую раннюю часть мезозойской эры), и, если отметить это событие, а также последующее рождение современного Атлантического океана и дрейф континентов к их теперешнему положению, рассказ о физической эволюции Земли можно считать в основном законченным. Самые старые части океанского дна, которые сохранились в настоящее время, появились в эту эпоху, и так началась поддающаяся расшифровке история мировых океанов. Ее можно проследить по магнитным «полосам» и зонам разломов морского дна, образовавших хребты и трещины посреди океана.

Новые формы жизни, которые эволюционировали в первый период мезозойской эры, дали начало новому миру. Появились цветковые растения, и Земля заиграла красками цветов и листвы деревьев, травы и огромного количества кустарников и цветов. В морях появился новый вид фотосинте-зирующих водорослей—диатомеи; это одноклеточные организмы, покрытые тонкой оболочкой из окиси кремния. Диатомеи ответственны за большую часть первичной продукции фотосинтеза органического вещества в морях.

Примерно в то же самое время появились известковые фораминиферы. Это одноклеточные животные, которые обитают вне растений на поверхности моря. Их раковины, состоящие из карбоната кальция, постоянно опускались на дно океанов, являясь источником нового типа глубоководных отложений — фораминиферального ила. Остатки этих фораминифер дали сюжет своеобразного детективного рассказа: температуру древнего мира и, следовательно, климат оказалось возможным определить по изотопному составу и внешней форме раковин. И форма раковины, и относительное содержание в ней нормальных атомов кислорода (кислорода-16) и редкого тяжелого изотопа (кислорода-18) зависят от температуры воды, в которой жило животное. Измеренная таким образом температура океана позволила обнаружить важные климатические изменения в прошлом.

В течение большей части последних 50 млн. лет (т. е. большей части кайнозойской эры) температура поверхности Земли падала. Это остывание достигло кульминации в последние несколько миллионов лет и проявилось в повторяющихся оледенения. Самые современные из них стали свидетелями появления нового вида — человека и повлияли на его эволюцию. Достаточно продвинувшись в своей эволюции, человек в период первобытного состояния перемещался по мере того, как ледники покрыли большую часть Северной Европы, Азии и Северной Америки. В течение короткого 10000-летнего периода после того, как ледники отступили и заняли свое теперешнее положение полярных шапок (возможно, это было временное отступление), человек стал видом, который распространился и занял почти всю поверхность планеты и превратился в биологическую популяцию, способную глубоко повлиять на ход истории Земли как планеты. Только сейчас он стал отдавать себе отчет в том, что некоторые аспекты его деятельности могут изменить тонкую оболочку атмосферы, океанов и пресных вод, которые делают возможным его существование.