



УДК 550.7

Г.И. Рудько

*д-р геол.-минерал. наук, д-р геогр. наук, д-р тех. наук,
проф. Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
председатель Государственной комиссии Украины по запасам полезных ископаемых*

НАУЧНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОГЕОЛОГИИ

Рассмотрена биогеологическая история Земли как процесс непрерывной трансформации и постоянной адаптации от первичных форм жизни к ее современному состоянию. Развитие жизни на Земле происходило в условиях изменений геологических процессов, химического состава атмосферы и водной среды, в периоды между глобальными катастрофами. В результате более чем за 3,8 млрд лет сформировалась природно-антропогенная система «человек – геологическая и смежная среда», которая трансформировала биосферу согласно потребностям человека, создав прецедент несоответствия потребностей человечества и ресурсов биосферы. Определены основные сценарии развития человека и биосферы вследствие наступления техногена. Исследованы сценарии развития техногена и роль человека в условиях интенсивной трансформации биосферы за счет техногенной деятельности.

Введение

Сегодня человечество оказалось в ситуации, когда противоречия между его потребностями и имеющимися ресурсами биосферы достигли критической точки. Исходя из результатов последних исследований необходимы новые подходы к выходу из этого состояния. Автором рассмотрены современная теория зарождения и развития жизни на Земле, формирование атмосферы и водного баланса планеты.

Древнейшие из известных минералов имеют возраст 4,2 млрд лет, а возраст древнейших пород, в которых найден углерод органического происхождения – около 3,8 млрд лет. До недавнего времени считалось, что возникновению жизни на Земле предшествовала очень длительная (миллиарды лет) химическая эволюция, которая включала спонтанный синтез и полимеризацию органических молекул, сочетание их в сложные системы – предшественники клеток, постепенное становление обмена веществ. Основной гипотезой происхождения жизни на Земле была гипотеза абиогенеза: первые биологические системы образовались из неорганической материи, появились первые клетки (прокариоты) и только после их появления начался интенсивный процесс биологической эволюции.

С развитием новых методов исследования органических остатков, содержащихся в архейских и протерозойских породах, а также остатков микроскопических клеточных структур эта гипотеза кардинально изменилась. Одним из самых удивительных палеонтологических открытий последних десятилетий является регистрация следов жизни даже в самых древних породах земной коры. Появление протожизни на Земле было почти мгновенным событием, эволюция от органических соединений к живым клеткам состоялась в очень сжатые сроки, в самом начале истории Земли (рисунок 1). Сейчас выдвинуто предположение, что жизнь на Земле существует столько же времени, сколько и сама наша планета.

На сегодня теория панспермии является одной из самых обсуждаемых теорий происхождения жизни на Земле. Согласно ей, рассеянные в космосе «зародыши» жизни (например, споры микроорганизмов) переносятся с одного небесного тела на другое метеоритами или под действием давления света, то есть первичная живая материя имеет



космическое происхождение. Об этом свидетельствуют обнаруженные в метеоритах органические соединения фосфилизованных примитивных организмов. Российские исследователи нашли в углистых хондритах (метеоритах) фосфилизованные цианобактерии и, возможно, несовершенные грибы, американские специалисты – следы бактерий в обломках пород с Марса, а группа ученых из Университета Кардиффа недавно идентифицировала в обломках метеорита, упавшего в конце 2012 г. на территорию о. Шри-Ланка, фосфилизованные остатки диатомовых водорослей [1; 2] (рисунок 2).

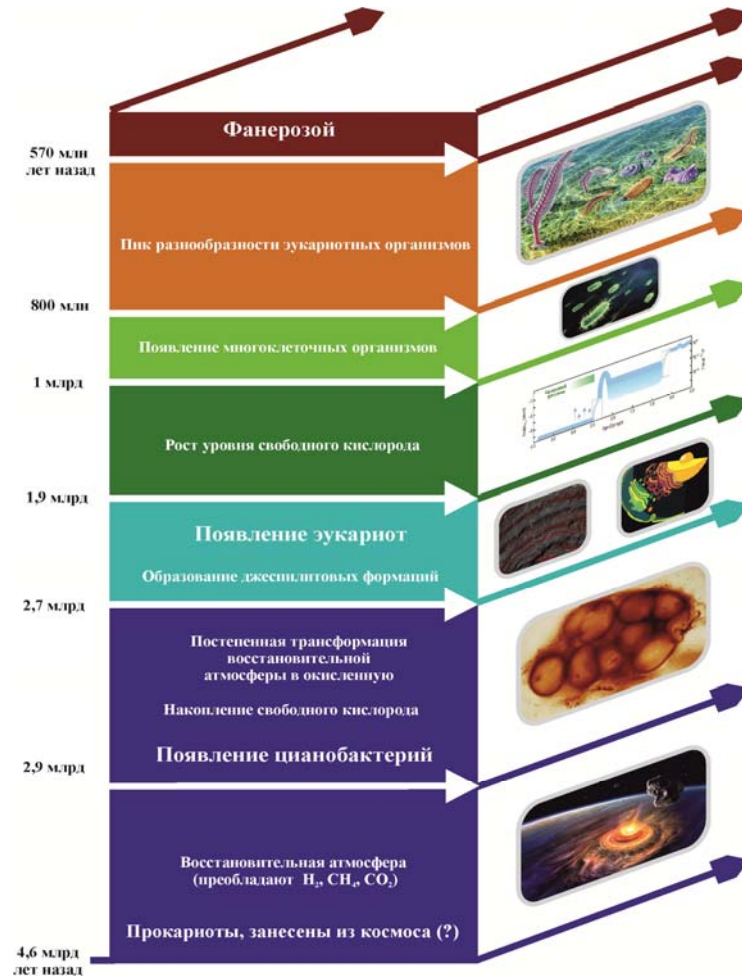


Рисунок 1. – Основные этапы формирования и развития биосферы докембрия

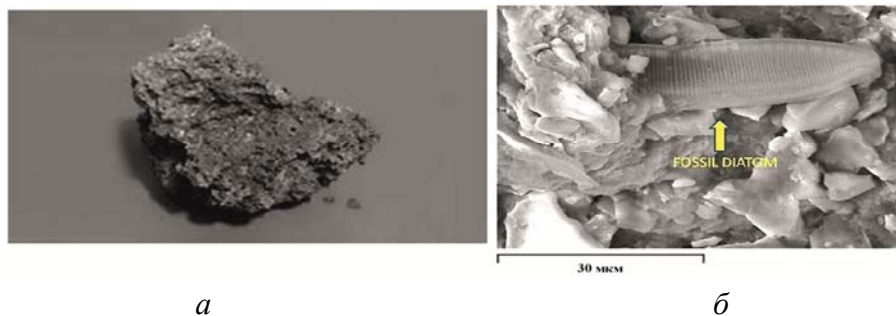
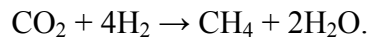


Рисунок 2. – Обломок метеорита, найденного на о. Шри-Ланка (а), и выявленные под микроскопом следы древних диатомовых водорослей (б)



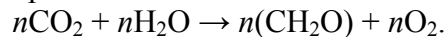
Теории возникновения жизни на Земле не разъясняли вопросы возникновения клетки. До сих пор нет практически ни одной гипотезы, которая правдоподобно описывала происхождения прокариот. В последние десятилетия разработаны специальные методы обработки осадочных горных пород, позволяющие выделять клеточные оболочки, которые содержатся в них, а в некоторых случаях даже получать косвенную информацию о внутреннем строении этих клеток. В докембрийских породах обнаружено множество одноклеточных организмов; древнейшие из них найдены в местоположении Варравуна (Австралия) и Онфервахт (Южная Африка), их возраст соответственно 3,5 и 3,4 млрд лет. Это несколько видов цианобактерий (сине-зеленых), которые практически не отличаются от современных. Итак, в раннем докембрии существовал особый мир, который формировался прокариотными организмами – бактериями и цианобактериями.

Древнейшие прокариоты, скорее всего, были хемоавтотрофами. Они приспосабливались к какой-либо химической реакции, которая проходила с выделением энергии и без их участия, сама по себе, только медленно. С помощью соответствующего фермента они начинали катализировать эту реакцию, многократно ускоряя ее. Например, древние прокариоты аноксигенным фотосинтезом восстанавливали углекислый газ до метана водородом:



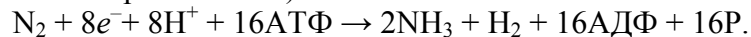
В результате такой деятельности в биосфере начали образовываться излишки метана и сульфатов. Появились симбиотические микробные группировки, способные окислять метан с помощью сульфатов. В результате снова образовывались углекислый газ и сероводород, которые испытывали дальнейшие изменения.

Позже (около 2,9 млрд лет назад) появились цианобактерии современного вида, содержащие хлорофилл, которые были способны к кислородному фотосинтезу:



В качестве источника электронов они использовали воду.

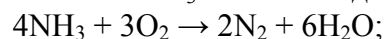
Кроме этого, цианобактерии (как и многие другие прокариоты) способны фиксировать атмосферный азот (при этом разрывается очень прочная связь между двумя атомами азота в его молекуле и образуются соединения азота, доступные для использования другими живыми организмами):



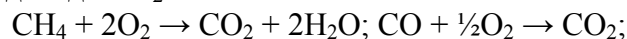
После появления цианобактерий прокариоты на нашей планете господствовали 1,5–2 млрд лет. Микроорганизмы становились все более многочисленными и разнообразными.

Древние цианобактерии превратили раннюю восстановительную атмосферу в кислородную, связав большое количество CO_2 в карбонаты в виде слоистых известняковых отложений – строматолитов с выделением O_2 как продукта фотосинтеза, который постепенно насыщал атмосферу.

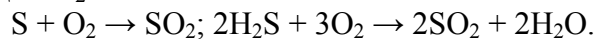
В восстановительной среде кислород, выделяемый цианобактериями, сначала расходовался на окисление различных соединений и не накапливался в свободном состоянии в атмосфере. При этом аммиак NH_3 окислялся до молекулярного азота N_2 :



метан и оксид углерода – до CO_2 :



сера и сероводород – до SO_2 :





Примерно 2 млрд лет назад содержание кислорода достигло 1% современного, что считается началом атмосферы нового, аэробного типа. Именно эти события дали толчок развитию эволюции в известном нам направлении. Эта теория описывает процесс формирования современной жизни. Так началась глобальная перестройка биосферы, ознаменовавшая процесс развития кислородной атмосферы.

Возможен такой механизм на других планетах земного типа? Несомненно.

Для анаэробных организмов увеличение концентрации кислорода было катастрофой, поскольку кислород очень агрессивный элемент, он быстро окисляет и разрушает органические соединения. Если в анаэробной биосфере, в толще строматолитов оставались аэробные карманы, откуда накопленный в результате фотосинтеза кислород просачивался в атмосферу, то теперь, когда биосфера превратилась в кислородную, анаэробные микроорганизмы нашли убежище в немногочисленных бескислородных карманах. В новой аэробной атмосфере могли выжить только те прокариоты, которые ранее в толще строматолитов приспособились к высокой концентрации кислорода.

Хемосфера боролась с этим отравлением окислением двухвалентного железа, которое непрерывно поступало в океан с магматическими излияниями, до трехвалентного, которое почти не растворялось в воде и поэтому выпадало в осадок вместе с карбонатами в форме кремнисто-железистых сезонно-ленточных (океан был холодным) илов. После метаморфизма из этих илов образовалась характерная для фотогена порода – джеспилиты. Отложения джеспилитов (железистых кварцитов) есть, например, на территории Украины в Криворожском железорудном бассейне.

Впоследствии сформировался озоновый слой, который экранировал поверхность Земли от попадания на нее смертельного ультрафиолета и сделал возможным развитие более высокоорганизованной формы жизни – эукариот. Первым следствием дорифейского экологического кризиса была массовая гибель прокариот в морях, остатки которых представлены в недрах протерозойскими нефтью, газом, графитом. Этот процесс характеризует перспективность докембрия по месторождениям углеводородного сырья.

Кроме бентосных прокариотных экосистем, представленных строматолитовыми матами, все это время существовали и планктонные, которые состояли из сферических одноклеточных водорослей – акритарх и шаровидных колоний. Считают, что именно в таких экосистемах в середине протерозоя (около 2 млрд лет назад) появились первые эукариоты.

Пик разнообразия эукариотических организмов в докембрии пришелся на интервал 900–800 млн лет назад. На фоне растущего разнообразия микроорганизмов увеличивались и их размеры [3]. Появившись почти 2 млрд лет назад, они в течение почти миллиарда лет не играли заметной роли в экосистемах, а все разнообразие этих организмов ограничивалось фитопланктонными формами – акритархами.

Около 1 млрд лет назад, в конце протерозойской эры, в эволюции эукариот произошел «большой взрыв»: сложились условия, благоприятные для появления больших и разнообразных организмов. Появились многоклеточные, способные к половому размножению (в Китае найдены ископаемые зародыши возрастом 600 млн лет). Раньше считали, что именно развитие функции полового размножения с обменом генетического материала вызвало такое разнообразие. Однако сейчас это предположение опровергнуто, поскольку бактерии тоже обмениваются генетическим материалом. Возможно, причиной была способность многоклеточных к росту, хотя некоторые их клетки уже выполняли определенные функции.



Эукариоты создали важную предпосылку для зарождения в рифее (позднем протерозое) многоклеточных растений и животных. Итак, чрезвычайно продолжительная эра господства бактерий и сине-зеленых, которые достигли в водах древних океанов значительного разнообразия форм и цветов в течение позднего рифея (1030–600 млн лет назад), завершилась появлением многоклеточных водных эукариот.

С появлением клеточного ядра эукариоты получили способность развивать сложные механизмы модификационной изменчивости. Именно это дало одноклеточным эукариотам возможность развить, во-первых, сложные жизненные циклы и половое размножение, во-вторых – многоклеточность [4].

Во время венда произошла еще одна радикальная перестройка жизни на Земле: быстрое повышение парциального давления кислорода вызвало взрыв возникновения новых форм жизни на Земле. Отличительным признаком всей вендской биоты является отсутствие скелета. У тех организмов не мог сформироваться мощный минеральный скелет по двум причинам: низкая эффективность ферментов, ответственных за биоминерализацию, из-за низких температур; высокая растворимость карбоната (в холодных водах он сложнее концентрируется и сохраняется).

Животные достигали больших размеров, некоторые – до 1 м, но имели желеобразные тела, которые оставляли отпечатки на мягких грунтах. Хорошая и массовая сохранность таких отпечатков косвенно свидетельствует об отсутствии трупоедов и крупных хищников в вендских биоценозах.

В самом начале кембрия – около 542 млн лет назад – у большой группы животных почти одновременно появился твердый минерализованный скелет (рисунок 3). Поскольку в ископаемом состоянии обычно находятся именно такие скелеты, а мягкие части бесследно исчезают, это событие в палеонтологической летописи выглядит как внезапное появление многих групп животных, названное учеными кембрийским «взрывом» (рисунок 4) [5].



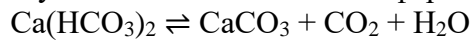
Рисунок 3. – Древний коралловый риф, образованный остатками первых организмов с минеральным скелетом (Намибия, Южная Африка)

Впоследствии выяснилось, что предки многих кембрийских групп животных жили и раньше, но поскольку они были мягкотелыми, их остатки практически не сохранились в докембрийских породах. Поэтому загадка кембрийского «взрыва» скорее лежит в плоскости выявления причин одновременного появления минерального скелета у многих типов животных. Это событие связывают с изменением условий среды, в частности с резким уменьшением кислотности воды, в результате чего карбонат кальция (CaCO_3), как самый распространенный скелетообразующий материал, стал менее растворимым в морской воде и легче выпадал в осадок.



Для эвалюцыі паверхнастнай оболочкі Зямлі очень важным было ўзаемадзейства ўглекислого газа с изверженными горными породами. При этом силикаты распадались с вымыванием из них щелочных (Na) и щелочноземельных (Ca) металлов. В первом случае в воды поступал NaHCO_3 , во втором – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

В геологическом масштабе времени углекислотное выщелачивание считают определяющим для извлечения углекислого газа из атмосферы [6]. В оборотной реакции



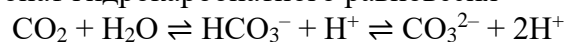
половина углекислого газа возвращалась в цикл, а остальная выводилась из него с образованием карбонатов.

В течение архея – протерозоя химическое выветривание способствовало формированию мощных карбонатных платформ в зоне контакта континентов и океана как одних из главных осадочных пород. В этом процессе участвовали группы цианобактерий, которые сформировали слои строматолитов. В фанерозое их сменили эукариоты с карбонатным скелетом, образовавшие рифы.



Рисунок 4. – Основные этапы формирования и развития биосферы фанерозоя

Из реакции карбонат гидрокарбонатного равновесия



следует, что pH среды зависит от доступного Ca^{2+} : пока он не израсходован, избыточный углекислый газ поступает в карбонаты и pH не повышается. В то же время, пока есть CaCO_3 , pH снижается, поскольку карбонаты растворяются. Состав раствора зависел от соотношения Ca и Na в изверженных породах. Особенно усиливалось выщелачивание



чивание подземными водами измельченных вулканических продуктов, которое нередко сочеталось с повышенной температурой в зонах рифтогенеза.

Вместе с тем в обычных условиях углекислотное выщелачивание является довольно медленным процессом, который ускоряется под влиянием биоты в 10–100 раз. Итак, в нейтральной среде развитие живых организмов связано с наличием в нем кальция.

Одновременное массовое появление скелетов (карбонатных, фосфатных и кремниевых) у многоклеточных животных в начале кембрия можно объяснить или потеплением, или колонизацией животными низких широт.

Другим фактором могло быть увеличение биоразнообразия и связанное с ним удлинение трофических цепей. Концентрация ионов (особенно кальция, магния, фосфора и кремния) росла экспоненциально по трофической цепи. Возникает необходимость их вывода или детоксикации. У части беспозвоночных появилась возможность строить минеральный скелет в результате детоксикации в условиях тепловодных местообитаний, где растворимость ряда биоминералов ниже, а эффективность ответственных за минерализацию ферментов выше, чем в холодных водах. Возможно, животные не могли колонизировать тепловодные места до тех пор, пока в достаточной мере не повысился уровень кислорода. В теплой воде кислорода растворяется меньше. Известно, что эукариоты хуже переносят перегрев, чем прокариоты и простейшие, что может быть связано с их повышенной потребностью в кислороде.

Однако для образования карбонатных скелетов животных недостаточно было одних только благоприятных условий среды. Нужны были специальные гены и ферменты, с помощью которых животные могли бы контролировать образование и рост кристаллов карбоната кальция в нужных местах и в нужном количестве.

Важнейшую роль в образовании карбонатных скелетов у животных играет фермент карбоангидраза [7], которая примерно в миллион раз ускоряет реакцию превращения растворенного в воде углекислого газа в гидрокарбонат:



Карбоангидраза широко распространена в живом мире, в том числе и у прокариот. Кроме биоминерализации, она участвует в выполнении множества других функций (регуляция pH, транспорт ионов, вывод CO₂ из тканей и др.).

В результате образования у животных скелетов в кембрии появились новые способы существования в пределах морского мелководья. Губки получили возможность фильтровать бактерии, трилобиты – закапываться в донные отложения, моллюски – ползать по поверхности морского дна. Брахиоподы, мшанки и иглокожие смогли подниматься вертикально из воды, держаться над ее поверхностью и эффективнее фильтровать воду с микроорганизмами для получения пищи. Без твердых частей тела подобный образ жизни был бы невозможен или, по крайней мере, менее продуктивен. По мнению американского ученого Д.Е. Хатчинсона, появление у живых организмов в начале фанерозоя скелетов, способных к фоссилизации, отражает в основном возникновение хищничества. До тех пор биосфера в целом была мирным царством, в котором защитные панцири были не нужны.

В кембрийский период на Земле существовали огромные участки, занятые континентальным шельфом или материковыми отмелями. Здесь создались идеальные условия для жизни: дно, покрытое слоем мягкого ила, и теплая вода. К тому времени в атмосфере содержалось много кислорода, хотя его было меньше, чем сегодня.



В течение фанерозоя происходили значительные перестройки (биотические события), что зафиксировано изменениями разнообразия организмов. Массово появлялись новые группы организмов высокого таксономического ранга и вымирали старые.

Долгое время глобальные катастрофы, которые могли влиять на эволюцию земной жизни, мало интересовали ученых. Геологам и палеонтологам было важнее понять постепенную и непрерывную смену видов. Только недавно, в середине прошлого века, когда было установлено, что массовые вымирания по времени совпадают с катастрофическими событиями, такими как вспышки вулканизма и падение метеоритов, их начали изучать целенаправленно.

Впервые о катастрофах, которые происходили на Земле в прошлом, заговорил в начале XIX в. французский натуралист Жорж Кювье. Ученый обратил внимание на то, что в недрах Земли горизонты, богатые останками доисторических животных, чередуются с горизонтами, бедными на эти находки. При этом Ж. Кювье обнаружил, что в каждом новом слое, обогащенном костями, останки принадлежали животным других разновидностей, а не тем, что были найдены в предыдущем и последующем слоях, то есть не тем, которые жили на Земле раньше или позже, конечно, в геологическом масштабе времени.

Кислородная катастрофа – одно из важнейших событий в истории Земли, именно вследствие нее в атмосфере нашей планеты появился кислород, без которого мы не можем жить. Эта важное экологическое событие произошло примерно 2,5 млрд лет назад. Формирование кислородной атмосферы является определяющим событием, который объясняет механизм трансформации биосферы от прокариот (дышащих азотом, метаном и т.п. и выделяющих кислород), к высшим, более организованным формам жизни, которые используют кислород для жизнеобеспечения.

Ход дальнейшего развития жизни в большой степени зависел от геологических процессов, которые корректировали направление развития биоты. Не следует исключать и поступательного движения по совершенствованию условий самоорганизации живой материи. Итак, эпоха прокариот, которая обусловила формирование кислородной атмосферы, привела их к гибели, создав качественно новую платформу для жизни – развития эукариот, энергетика жизни которых основана на процессе дыхания.

Кембрийский «взрыв» – внезапное (в геологическом смысле) появление в раннекембрийских (около 542 млн лет назад) отложениях окаменелостей представителей многих подразделений животного царства на фоне отсутствия их окаменелостей или окаменелостей их предков в докембрийских отложениях.

Ордовикско-силурийское вымирание – массовое вымирание на границе ордовикского и силурийского периодов – около 450–440 млн лет назад: третье по количеству вымерших родов из пяти крупнейших вымираний в истории Земли и второе – по потерям количества живых организмов.

Сейчас ордовикско-силурийское вымирание интенсивно изучают. Хронология соответствует началу и окончанию тяжелых ледниковых периодов фанерозоя, которые ознаменовались в конце длительным похолоданием в верхнем ордовике. Это пагубно сказалось на фауне конца ордовика, для которого был характерен типично парниковый климат. Этому предшествовало уменьшение содержания в атмосфере углекислого газа, которое избирательно коснулось организмов, живших в мелководных морях. Ледники удерживали воду, в межледниковый период – освобождали ее, по этой причине уровень Мирового океана существенно колебался несколько раз. Уровень больших мелководных внутриконтинентальных морей ордовика поднимался, разрушались биологические



ниши, затем он снова возвращался в прежнее состояние, при этом уменьшались популяции, часто исчезали целые семьи организмов. Погибло более 60% морских беспозвоночных, включая две трети всех семей брахиопод и мшанок. Доказательства оледенения найдены в отложениях в пустыне Сахара.

Сейчас многие ученые придерживаются теории, что причиной начала вымирания была вспышка гамма-излучения от сверхновой, находящейся в 6 тыс. световых лет от Земли (в ближнем относительно Земли рукаве галактики Млечный Путь). Десятисекундная вспышка привела к истончению озонового слоя атмосферы Земли примерно вдвое, подвергнув организмы, которые жили на поверхности (в том числе и ответственные за планетарный фотосинтез) сильному ультрафиолетовому облучению. Однако однозначных доказательств того, что подобные гамма-вспышки происходили, не найдено.

Девонское вымирание – массовое вымирание видов в конце девона, одно из крупнейших в истории Земли вымираний флоры и фауны. Первый (и самый сильный) пик вымирания приурочен к началу фаменского яруса – последнего яруса девонского периода, около 374 млн лет назад, когда неожиданно исчезли почти все бесчелюстные. Второй импульс завершил девонский период (около 359 млн лет назад). Всего вымерло 19% семейств и 50% родов. Причины этого пока неясны. Основная теория предполагает, что главной причиной вымирания в океанах стали изменения уровня океана и снижение уровня кислорода в океанических водах. Вероятно, активатором этих событий было глобальное похолодание или обширный океанический вулканизм, хотя падение внеземного тела, такого как комета, также вполне возможно. Некоторые статистические исследования морской фауны того времени наводят на мысль, что уменьшение разнообразия живого мира было связано скорее со спадом темпа видообразования, чем с ростом скорости вымирания.

Массовое пермское вымирание, или пермско-триасовое вымирание (неформально известно как «великое вымирание», или «самое массовое вымирание всех времен») – одно из пяти массовых вымираний, стало чертой, разделяющей пермский и триасовый периоды, то есть палеозой и мезозой, примерно 251,4 млн лет назад. Это одна из крупнейших катастроф биосферы в истории Земли, привела к вымиранию 96% всех морских видов и 70% наземных видов позвоночных. Катастрофа стала единственным известным массовым вымиранием насекомых, когда вымерло около 57% родов и 83% видов всего их класса. Из-за потери такого количества и разнообразия биологических видов восстановление биосферы продолжалось гораздо дольше, чем после других катастроф.

Модели, по которым оно происходило, обсуждаются. На сегодня у специалистов нет единого мнения о причинах вымирания. Рассматривают несколько возможных причин, такие как постепенные изменения окружающей среды (аноксия – изменение химического состава морской воды и атмосферы, в частности дефицит кислорода, повышение сухости климата, изменение океанических течений и (или) уровня моря под влиянием изменений климата) и катастрофические события (падение одного или нескольких метеоритов, столкновение Земли с астероидом диаметром в несколько десятков километров, резкое усиление вулканической деятельности, внезапный выброс метана со дна моря).

Триасово-юрское вымирание является границей между триасовым и юрского периода (200 млн лет назад) – одно из крупнейших вымираний мезозойской эры, глубоко затронуло жизнь на Земле. Целый класс конодонтов, которые составляли 20% всех морских семейств, все широко распространенные не динозавроподобные архозавры,



многие виды земноводных исчезли полностью. По меньшей мере, половина известных ныне видов, живших на Земле в то время, вымерли. Это событие высвободило экологические ниши и с юрского периода начали доминировать динозавры. Триасовое вымирание произошло менее чем за 10 000 лет, непосредственно перед тем, как Пангея начала распадаться на части. Было предложено несколько объяснений этого события, но все они не в полной мере соответствуют следующим требованиям:

1) постепенное изменение климата или флуктуации уровня океана в течение позднего триасового периода, однако это не объясняет внезапность вымирания существ в океане;

2) падение астероида, однако нет датированного ударного кратера, образование которого совпадало бы с триасово-юрской границей;

3) массовые извержения вулканов, особенно излияние базальтовых лав в Центрально-Атлантической магматической области, которые освободили в атмосферу углекислый газ или диоксид серы, которые, в свою очередь, стали причиной сильного глобального потепления (от первого газа) или похолодания (от второго газа);

4) гипотеза о метан-гидратном «ружье»: потепление из-за вулканизма и накопление углекислого газа в атмосфере привело к освобождению метана из донных гидратов; выделение метана (более сильного парникового газа, чем CO_2) ускорило потепление еще в большей степени, что, в свою очередь, интенсифицировало процесс освобождения метана со дна океанов и повлекло быструю смену глобальной температуры.

Мел-палеогеновое вымирание (около 65 млн лет назад) охарактеризовалось новым массовым вымиранием видов: исчезло около 40% всех существовавших тогда семейств животных. Исчезли птерозавры, аммониты, мозазавры, но главными жертвами этой катастрофы были, конечно же, динозавры. Причина вымирания до сих пор остается невыясненной.

По этому вопросу существуют две полярные гипотезы. По одной из них, более высокоорганизованные группы вытеснили и уничтожили менее организованные. Важная роль при этом принадлежала изменениям палеогеографических условий, например, таким как резкое увеличение площади суши. Вторая гипотеза во главу угла выводит катастрофические процессы, в частности, падение метеоритов. Это могло повлечь резкое изменение температуры воздуха и воды, изменить состав атмосферы, уровень солнечной радиации и т.п. Следует отметить, что обе гипотезы имеют право на существование и поиски научно обоснованных доказательств того или иного сегодня довольно актуальны.

Эоценово-олигоценовое вымирание (известное также по европейской фауне как «Великий перелом» (франц. «*Grande Coupure*»)) – значительные изменения в составе морской и наземной флоры и фауны. Началось в конце эоцена–начале олигоцена около $33,9 \pm 0,1$ млн лет назад. Значительно уступало по масштабности пяти крупнейшим массовым вымиранием в истории Земли. В океанах это вымирание было весьма растянутым во времени и продолжалось примерно 4 млн лет (конец – поздний эоцен). Суммарное вымирание морских животных оценено в 3,2%, что в несколько раз превышало фоновый показатель 0,66%. Более половины вымирающих семей в конце эоцена составляли фораминиферы и морские ежи. На уровне родов заметно вымирал (около 15%) морской бентос. По отдельным видам можно выделить исчезновения в этот период древних китообразных.

Существует несколько гипотез, объясняющих причины вымирания, однако единого мнения среди палеонтологов по этому вопросу нет. Обоснованными и достаточно изученными гипотезами являются:



1. Столкновения Земли с астероидами; по мнению многих ученых, резкое изменение климата, которое повлекло вымирание видов, вызвали последовательные удары двух метеоритов, упавших в Северной Америке (Чесапик-Бей) и Сибири (Попигай); из-за резкого снижения температуры в атмосфере значительно уменьшилась концентрация углекислого газа; немало метеорологов именно с олигоценом связывают процесс формирования Антарктического ледяного щита; однако следует отметить, что влияние падения астероидов на климат в геологическом масштабе времени очень кратковременное.

2. Извержения супервулканов; некоторые ученые утверждают, что из 47 известных извержений супервулканов 23 произошли в этот период вымирания; огромные площади территории современной Северной Америки были покрыты километровыми слоями отложений туфа и пепла (под супервулканическими понимают извержения особого типа, которые происходят из системы радиальных трещин, когда скопление магмы поднимает целый вулканический район, а не один вулкан, соответственно объем выбросов веществ в атмосферу в разы превышает объемы выбросов обычных земных вулканов).

3. Изменение климата на границе перехода эоцена в олигоцен.

4. Частичное затенение Земли ее гипотетическими кольцами; в 1980-х гг. была выдвинута гипотеза о возможности существования в определенный период развития Земли системы колец, подобных кольцам Юпитера, дальнейшие исследования которых натолкнули некоторых ученых на мысль, что тень от них могла вызвать глобальное похолодание климата, которое, в свою очередь, обусловило вымирание многих видов морских организмов в позднем эоцене.

Техноген. Процесс формирования человека завершился только в эпоху верхнего палеолита (около 40 тыс. лет назад), когда появился современный тип человека – *Homo sapiens* – человек разумный (кроманьонец) (рисунок 5).

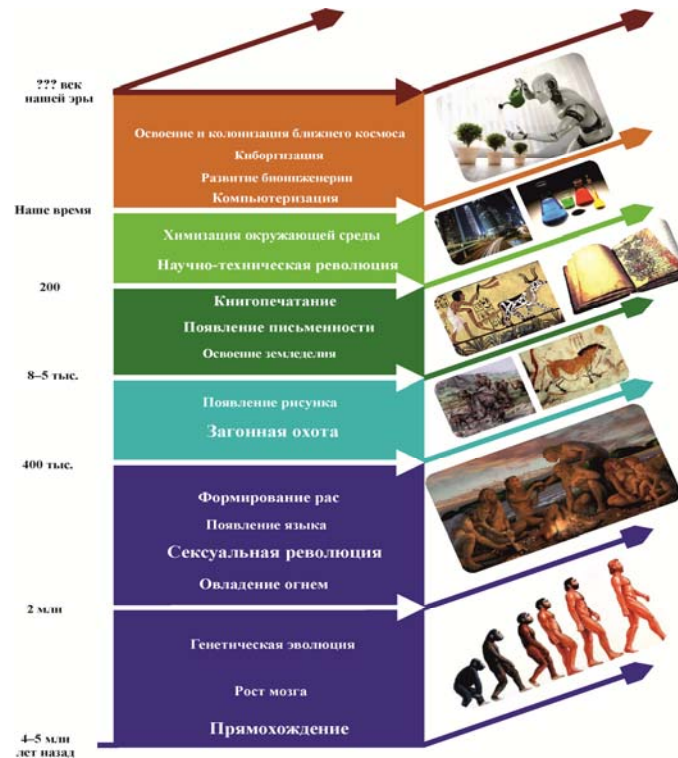


Рисунок 5. – Основные этапы формирования и развития человека



Вообще, провести границу, которая отделяет человека от животного, сложно, как и грань, которая отделяет живое от неживого. Поэтому информационный критерий – появление языка и генетического кода – четкий. Однако этот процесс неотделим от социальных отношений. Иначе говоря, человек появился не сам по себе, а в форме общества, подобно тому, как жизнь зародилась не в виде организма, а в форме живого вещества или поля живого вещества [8].

По последним данным, основанным на концепции Ю.И. Семенова [9], появление человека геологически было мгновенным событием, связанным с сексуальной революцией. Известно, что в животном мире эструс – период сексуальной возбудимости самок – строго ограничен (у обезьян – около 5 суток) и только у женщин – постоянный. Кратковременность эструса у австралопитеков приводила к сокращению их стада, потому что выжить они могли только в условиях жесткой системы биологического доминирования сильного самца. Поэтому в процессе эволюции создавались благоприятные условия для быстрого роста мозга (100–30 тыс. лет назад) и удлинения периода эструса в результате мутаций. В стаде отношения между самцами стали терпимее, а, следовательно, охотников и мяса – больше. Как следствие, система биологического доминирования в такой популяции могла в течение одного-двух поколений смениться системой социальных отношений. Биологический переход от самки к женщине был большим прогрессом в эволюции – выходом на новые информационный и энергетический уровни, поскольку он означал становление речи, переход к овладению огнем.

Примерно во втором тысячелетии до нашей эры зародилась письменность – мощное средство фиксации и ретрансляции социально-культурных достижений. Началась эпоха цивилизации. Происходило общественное разделение труда, появлялись города, развивался товарообмен, закладывались основы правового регулирования отношений между людьми, возникли государства и первые писанные законы.

Со временем человек с соответствующими средствами производства стал главной геологической силой и потребителем энергетических ресурсов планеты. Развитие патриархального общества, выбрав природопокорительную идеологию, обеспечило свой быстрый прогресс за счет увеличения экспансии в природу и деградации последней. Это закономерно привело ко второму глобальному экологическому кризису (первый – кислородная катастрофа), в результате которого биосферу начала вытеснять техносфера, которая формирует третий ноокибернетический ствол жизни, адаптированный к любым неокислородным средам, в том числе и к космической.

Техноген, как современный этап геологической истории, характеризующийся интенсивной деятельностью человека и усилением ее влияния на геологическую среду, начался в голоцене и будет продолжаться до тех пор, пока существует человечество.

Проблемы, стоящие перед человечеством, тесно связаны между собой. Быстрый рост численности населения приводит к более интенсивному использованию природных ресурсов, обостряет продовольственную проблему.

Уже сегодня человечество потребляет природных ресурсов на порядок больше, чем можно изымать из биосферы без ущерба ее биогеохимическим циклам и без нарушения процесса самовосстановления. Иначе говоря, человечество начиная с XX в. живет за счет своих потомков. Более того, оно поставило биосферу, а значит, и себя как неотъемлемую ее часть на грань полной деградации.

В связи с резким обострением экологического кризиса и осознанием того, что в условиях ухудшения качества окружающей среды невозможно здоровое общество и здоровая экономика, многие ученые и организации в 1970-е гг. начали исследования



реальных путей развития Земли при сохранении существующих тенденций или экологической корректировки дальнейшего развития. Были предложены «сценарии» развития Земли, которые чаще основывались на изложении личных представлений авторов о возможном развитии, и реже – на научном прогнозировании последствий существующих тенденций (неконтролируемый рост численности населения, интенсификация экономики без учета возможностей Земли и т.п.) с использованием мощных компьютерных моделей. На сегодня разработаны различные сценарии, которые существенно отличаются по степени научной обоснованности и объективности. Некоторые из них носят откровенно эмоциональный апокалиптический характер и предупреждают о скором крушении; другие объективнее и дают рекомендации относительно конкретных действий [10–12]. Рассмотрим основные сценарии развития человечества в техногене.

Экологический волюнтаризм (лат. *voluntas* – воля), в основе которого лежит антропоцентрический принцип о предназначении Природы для удовлетворения потребностей не только человечества, но и каждого индивидуума, ложные представления о неисчерпаемости природных ресурсов и безграничные возможности человека. В прогнозируемый период времени он приведет к возникновению явлений «экологического бума» – негативного влияния факторов среды на все сферы существования человека. Экологический волюнтаризм влечет стремление к экстенсификации существующих методов хозяйствования, отрицание необходимости его интенсификации на новой научно-технической основе. Характеризуется отсутствием экологического мышления, полным игнорированием законов экологии, непониманием неизбежности перехода к новым технологиям, которые при повышении социально-экономического эффекта были бы одновременно экологически рациональными, а затем и перехода к развитию в рамках хозяйственной емкости экосистемы. Сам по себе сценарий исторически интересный, но конкретная хозяйственная деятельность нередко строится именно на интуитивных представлениях о сиюминутной выгоде от тех или иных проектов [13].

Сценарий управления природой базируется на необходимости сохранения биосферы как основы существования человечества. Предусматривает использование природных ресурсов с учетом «экологических императивов» – ограничений, направленных на сохранение ресурсного потенциала планеты путем «экологизации производства» и содействие восстановительным процессам на основе познания и соблюдение законов Природы.

Технократический сценарий основан на признании возможности полной замены биосферы как источника необходимых для человечества ресурсов на технические средства. Допускается и замена самого человека на «искусственный интеллект» и «киборгов» – биокибернетических организмов с человеческим мозгом и механическим телом; роль человека сводится к производству необходимых частей киборгов.

Космический сценарий предусматривает использование космоса для расселения людей, получения ресурсов, размещения отходов и решения любых проблем, которые встанут перед человечеством. Рано или поздно человечеству придется покинуть Землю и начать колонизацию других звездных систем. От этого зависит не только его выживание – человечеству как виду присуще стремление к развитию, движению вперед. Выйдя за пределы географических рубежей и биологических ограничений, оно обусловило дальнейшее развитие цивилизации, что привело к технологическим, социальным, политическим и экономическим изменениям в обществе.

«*Возвращение к природе*» – сценарий, основанный на распространенном среди экологических экстремистов взгляде, которые считают, что вопреки необратимости ис-



торического развития человечество может вернуться к пасторальной идиллии прошлого и удовлетворять свои потребности «плодами» земли. Человечество не должно делать шаг вперед (как предполагает большинство футуристов), а должен осуществить гигантский скачок назад. Основной предпосылкой является то, что общество стало в основном потребителем, поэтому должен взять курс на сознательный регресс (с эволюционной точки зрения) до состояния, когда человек не наносил ущерба планете. Только возвращение к доцивилизационному обществу может снять угрозу для планеты, природы и для самих себя. Конечной целью будет конец цивилизации и возвращение людей в джунгли.

«Вперед к природе» – создание путем генной инженерии организмов с новыми свойствами, которые, будучи введены в экосистемы, будут контролировать их в заданном направлении. Будущее, в котором природа станет куда более буйной и пышной, чем мы можем себе представить. Новые течения энвайронментализма и трансгуманизма (такие как техногайянизм) обуславливают развитие технологий, направленных на восстановление окружающей среды. Нано- и биотехнологии можно будет использовать для очистки свалок и уничтожение отходов производства. А в далеком будущем возможно трансформации Земли до ее первозданного вида. В далеком будущем наша планета может стать экологически более диверсифицированной, чем она когда-либо была в своей истории. Людям придется генетически модифицировать, чтобы они не мешали общей гармонии окружающей среды. Все энергетические потребности человечества будут удовлетворены раз и навсегда – мы станем цивилизацией первого типа по шкале Кардашова (планетарная цивилизация использует ресурсы своей планеты полностью, планеты ее звездной системы колонизируются и становятся частью ресурсной базы). Некоторые экологи выступают еще и за корректировку экосистемы Земли: уничтожение хищников, чтобы травоядные животные не страдали. Появится возможность контролировать погоду и средства защиты от природных катаклизмов: астероидов, землетрясений, извержений вулканов. Однако последствия новейших биотехнологий пока непредсказуемы, а тем более изменения экосистем при их внедрении.

Катастрофический сценарий предполагает гибель человечества в результате одной из антропогенных катастроф: ядерной войны, истощения ресурсов, загрязнения среды и тому подобное. В результате возможной ядерной войны снизится прозрачность атмосферы для солнечного света из-за запыления, в результате глобального изменения климата наступит «ядерная зима», что повлечет развитие цепных негативных реакций в биосфере до полной ее гибели. Экологическая катастрофа в результате хозяйственной деятельности будет закономерным финалом прогресса цивилизации, замены природы на техносферу – саморазвивающуюся систему, управлять которой, вследствие ее сложности, человек не может.

Деградация человечества – вырождение человека из-за изменения наследственного аппарата в результате мутагенного действия загрязненной среды, духовная и нравственная деградация (ориентирование на материальное потребление, наркомания, алкоголизация). Многие люди наносят вред своему здоровью, прекрасно осознавая негативные последствия (например, курение, употребление алкоголя, наркотиков, других психотропных препаратов), причем действия правительств некоторых государств недвусмысленно указывают на определенную их заинтересованность в развитии таких видов бизнеса. В будущем человечество может столкнуться с проблемой повального употребления лекарственных средств, содержащих наркотики, или же наркотиков, и усилия рекламы, направленной на то, чтобы приучить наших детей считать лекарства чем-то жиз-



ненно необходимым, обыденным. Лекарства превращаются из средства лечения в продукт питания, а это чревато очень серьезными последствиями в будущем человечества.

В документах ООН, принятых в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, как новая теория существования всего человечества и природной среды была предложена *концепция устойчивого развития*. Она сформулирована как способ преодоления главной для современной цивилизации экологической угрозы, существовавшей в виде какой-то теоретически обоснованной опасности, осознаваемой сравнительно узким кругом ученых и политиков и связанной с перенаселением, необратимым расходом невозобновляемых природных ресурсов, загрязнением окружающей среды. Устойчивое развитие предусматривало гармонизацию отношений человечества и биосферы, его развитие в гармонии с законами природы, что становится возможным при условии осознанных ограничений на потребление ресурсов, исходя из возможностей биосферы. Главной целью устойчивого развития является улучшение качества жизни людей без нарушения устойчивости экосистем. Хотя в целом концепция устойчивого развития была принята мировым сообществом, до сих пор не вполне понятно, как достичь этой цели и оценить степень приближения к ней, ведь определение первичных потребностей очень отличается для людей разных стран и континентов.

В июне 2012 г. состоялась конференция ООН по устойчивому развитию «Рио+20», которая показала, что на сегодняшний день, к сожалению, мировое сообщество не готово серьезно, на политическом уровне подойти к вопросу будущего мира. Доминирует экономическое мышление, которое не занимается долговременными последствиями.

В современном мире наблюдается значительная разница между имеющимися в отдельных странах природными ресурсами и объемами их потребления в различных странах. На сегодня доказан факт, что 20% населения Земли, живущего в промышленно развитых странах мира, потребляет 80% всех ресурсов, а остальные 80% населения слаборазвитых стран – всего 20% ресурсов.

Сегодня жесткая конкурентная борьба за основные ресурсы планеты Земля между ведущими государствами мира становится ареной ожесточенной борьбы геополитических интересов, неравенство в мире, безусловно, растет, увеличивается поляризация общества.

Согласно этому варианту развития событий, мир может разделиться на протекционистские блоки, страны будут вести жестокие войны за жизненно важные ресурсы, например за воду и источники энергии – нефть, газ.

Развитые страны, сохраняя для своего населения высокий уровень потребления, политическими, военными и экономическими мерами будут держать остальной мир в промышленно неразвитом состоянии как сырьевой придаток, зоны сброса вредных отходов и источника дешевой рабочей силы.

В условиях такой борьбы между транснациональными корпорациями за сферы влияния на разных континентах для предотвращения уничтожения биосферы планеты ядерным оружием единственным решением остается модернизация системы международных отношений: переход от открытого противостояния к партнерству и взаимовыгодному сосуществованию.

Важным перспективным направлением развития общества остается информатизация человечества – высокоорганизованный социально-экономический и научно-технический процесс разработки и создания благоприятных условий для удовлетворения информационных потребностей с использованием информационных ресурсов. Одним



из перспективных научных направлений является глобальное моделирование или построение математических моделей, реализуемых на суперкомпьютерах, с помощью которых оценивают различные варианты решения мировых проблем.

Поскольку характерной чертой для человека является неумеренность потребления, ученые в будущем предлагают скорректировать эту вредную черту постепенной заменой человеческого мозга на искусственный интеллект, то есть провести киборгизацию общества. Ученые научатся не только воспроизводить каждую часть человеческого тела, но и корректировать потребности и возможности человека в различных условиях внешней среды, что обеспечит существование живых организмов даже в экстремальных условиях.

Однако такой сценарий развития будущего может пойти в другом направлении, если машины с нечеловеческим интеллектом начнут самосовершенствоваться и человек окажется неспособным остановить этот процесс. Это приведет к чрезвычайно быстрому технологическому развитию, к созданию мира, где технологии превзойдут человека и станут управлять финансовыми рынками, научными исследованиями, людьми и разработкой оружия, недоступными нашему пониманию. Поэтому сложно прогнозировать, какие последствия для людей может иметь создание искусственного интеллекта.

С одной стороны, большинство сценариев развития Земли довольно пессимистичны, кризисное состояние планеты предполагается в середине XXI века, с другой – есть целый ряд безусловных достижений человечества, которые оставляют надежду на преодоление основных кризисных явлений и постепенное достижение устойчивого (экологического) состояния планеты и всех стран.

Заклучение

Человечество поставило биосферу, а значит, и себя как неотъемлемую часть биосферы на грань полной деградации. Быстрый рост численности населения на Земле, стремительное увеличение объемов использования природных ресурсов ставят перед человечеством новые задачи, которые заключаются в освоении космического пространства, поисках жизни на соседних планетах и их освоения в будущем. Путь эволюции, который прошла планета Земля от начала формирования, длительный процесс зарождения и развития жизни, недостаточная изученность Вселенной дают основание предполагать, что аналогичные физико-химические процессы могут происходить и на других планетах. Возникают вопросы: «Возможно внесемная жизнь во Вселенной?», «Может быть повторен путь эволюции, который прошла Земля, на других планетах?» Кризис биосферы ставит вопрос о необходимости использования научно-технического потенциала человечества для поисков выхода из этой ситуации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розанов, А. Ю. История становления скелетных фаун / А. Ю. Розанов // Соросовск. образоват. журн. – 1996. – № 12. – С. 62–68.
2. Fossil diatoms in a new carbonaceous meteorite / N. C. Wickramasinghe [et al.] // *Journal of Cosmology*. – 2013. – Vol. 21, № 37. – P. 9560–9571.
3. Розанов, А. Ю. Проблема первичного биотопа эукариот. Экосистемные перестройки и эволюция биосферы / А. Ю. Розанов, М. А. Федонкин. – М. : Недра, 1994. – С. 25–32.



4. Марков, А. В. Проблема происхождения эукариот / А. В. Марков // Палеонтолог. журн. – 2005. – № 2. – С. 3–12.
5. Ediacaran metazoan reefs from the Nama Group, Namibia / A. M. Penny [et al.] // Science, 27 June 2014. – Vol. 344, № 6191. – P. 1504–1506.
6. Заварзин, Г. А. Содовые озера – природная модель древней биосферы континента / Г. А. Заварзин, Т. Н. Жилина // Природа. – 2000. – № 2. – С. 45–55.
7. Куприянова, Е. В. Карбоангидраза – фермент, преобразивший биосферу / Е. В. Куприянова, Н. А. Пронина // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 2. – С. 163–176.
8. Рудько, Г. І. Землелогія. Эколого-ресурсна безпека Землі / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко. – Київ : Академпрес, 2009. – 512 с.
9. Семенов, Ю. И. Происхождение человека в свете современных данных науки / Ю. И. Семенов // Вестн. АН СССР. – 1987. – № 7. – С. 120–130.
10. Реймес, Н. Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология / Н. Ф. Реймерс – М. : Россия молодая, 1992. – 367 с.
11. Степин, В. С. Эпоха перемен и сценарии будущего [Электронный ресурс] / В. С. Степин. – М. : Центр гуманитарных технологий, 1996. – Режим доступа: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/5311>. – Дата доступа: 18.10.2015.
12. Тетиор, А. Н. Устойчивое развитие города / А. Н. Тетиор – М. : Комитет по телекоммуникациям и средствам массовой информации правительства Москвы, 1999. – 173 с.
13. Краснощеков, Г. П. Экология «в законе» (теоретические конструкции современной экологии в цитатах и афоризмах) / Г. П. Краснощеков, Г. С. Розенберг. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2002. – 248 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.10.2015

Rudko G.I. Scientific and Methodological Foundations of Biogeology

Biogeological history of the Earth was considered as a process of continuous transformation and permanent adaptation from original forms of life to its current state. The development of life on Earth arose under the conditions of changes in geological processes, chemical composition of the atmosphere and the aquatic environment during the periods between global catastrophes. As a result, more than 3.8 billion years were needed to form anthropogenic system «man–geological and adjacent environment», which transformed the biosphere according to human needs, creating a precedent of inconsistency between human needs and biosphere resources. The main scenarios of human and biosphere development were determined in the result of technogene. Scenarios of technogene progress and human role under conditions of intense transformation of the biosphere due to anthropogenic activities were investigated as well.