

IV. ГЛОБАЛЬНАЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ И ЖИЗНИ

13

Геологическая история Земли

Р. Р. Габдуллин, И. В. Ильин, А. В. Иванов

Процессы образования Земли и коэволюция (совместная эволюция) ее составных частей – геосфер, Солнечной системы, галактики Млечный Путь и, безусловно, Вселенной – пример природных событий космического масштаба.

В первом приближении, говоря о геологической истории Земли как части Вселенной, следует определить время возникновения последней. **Образование Вселенной в результате Большого взрыва произошло около 17–15 млрд лет назад.** Считается, что Вселенная бесконечна. На данный момент нет единства взглядов по строению и свойствам Вселенной (то есть ее модели) и причинам ее происхождения. **Наша галактика – Млечный Путь – сформировалась примерно 10–12 млрд лет назад. В галактике около 8–9 млрд лет назад возникла звезда Солнце со своей системой планет. Земля как планета Солнечной системы сформировалась около 5 млрд лет назад** (Габдуллин и др. 2011).

Геологическая история Земли как планеты началась с этого рубежа, поэтому данная временная отметка является началом шкалы геологического времени. Геологи, говоря о древних слоях, используют взаимозэквивалентные единицы стратиграфической шкалы (например, система), а о событиях – геохронологической (например, период, см. Рис. 1а). Древнейшие горные породы, известные сегодня, имеют возраст около 4 млрд лет.

До этого временного рубежа протекал догеологический этап, от которого нет никаких «каменных» свидетельств. Все построения и доводы опираются на господствующие сегодня взгляды в физике и астрономии.

Прежде чем начать изложение материала по догеологической и собственно геологической истории Земли, проанализируем ее строение, дав характеристику основным слагающим ее глобальным геосистемам, что необходимо для корректного понимания сути эволюции Земли как геологического тела. Глобальные социо-природные процессы и системы Земли подробно рассмотрены в одноименном учебном пособии под ред. И. И. Абылгазиева и И. В. Ильина (Абылгазиев и др. 2011). Все они, как видно, находятся в постоянной взаимосвязи и взаимовлиянии (Рис. 1б).

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ (ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ) ШКАЛА. Кайнозой и мезозой

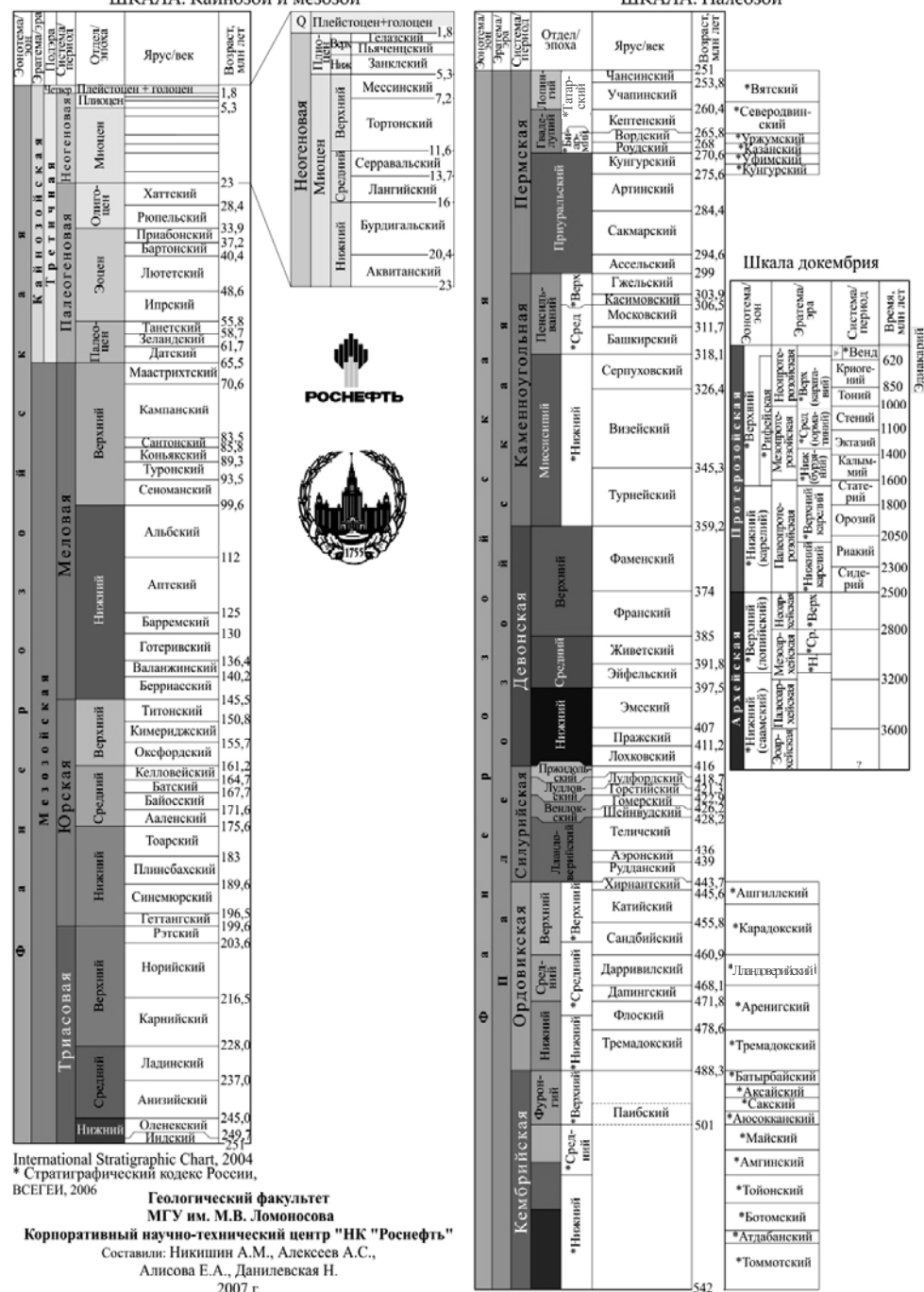
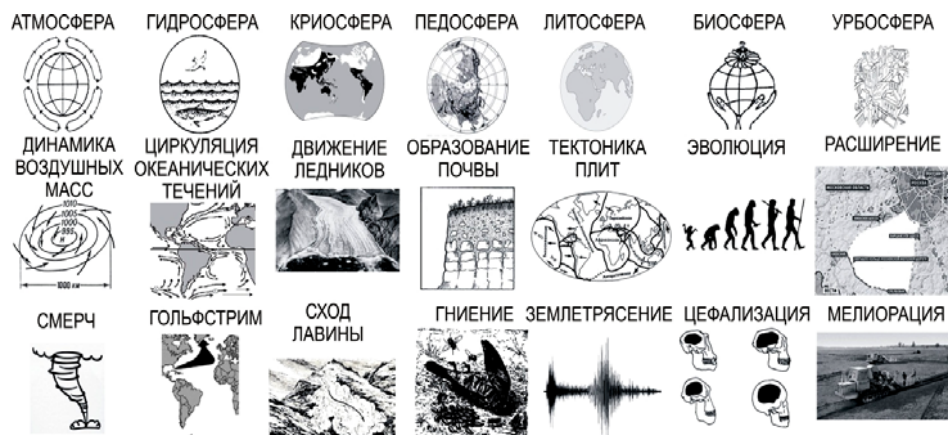


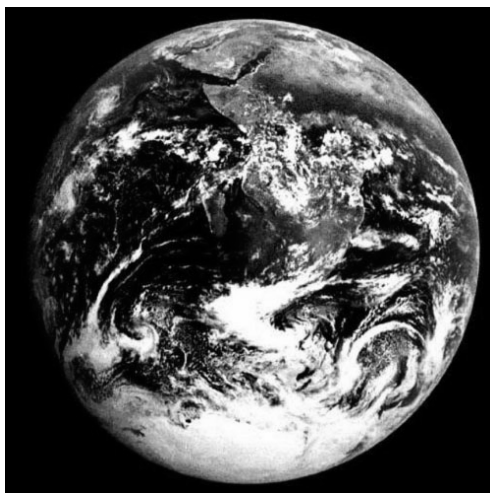
Рис. 16. Пример иерархии глобальных социоприродных процессов и систем (Абылгазиев и др. 2011)



Характеристика Земли и ее глобальных геосистем

Земля – одна из твердых планет Солнечной системы (см. Рис. 2). Она имеет радиус около 6371 км. Гравитационное поле обуславливает сферическую форму Земли и существование атмосферы и гидросферы.

Рис. 2. Земля



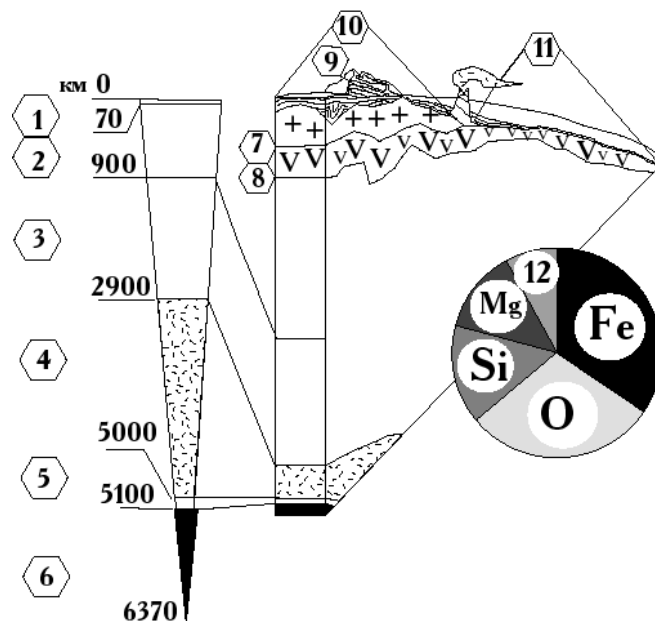
Справка: Земля обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите со средней скоростью 29,765 км/с на среднем расстоянии 149,6 млн км за период, равный 365,24 средних солнечных суток. Имеет спутник – Луну, обращающуюся вокруг Земли на среднем расстоянии 384400 км. Наклон Земли к плоскости эклиптики $66^{\circ}33'$, период обращения вокруг своей оси составляет 23 ч. 56 мин. 4,1 с. Вращение вокруг оси вызывает смену дня и ночи, наклон оси и обращение вокруг Солнца – смену времен года.

Форма Земли по представлениям различных ученых – геоид, приближенно-трехосный эллипсоид или сфероид. Средний радиус 6371,032 км, экваториальный – 6378,160 км, полярный – 6356,77 км. Площадь поверхности 510,2 млн км², объем – $1,083 \times 10^{12}$ км³, средняя плотность – 5518 кг/м³, масса – 5976×10^{21} кг (Советский энциклопедический словарь 1982).

Земля химически (то есть по изменению химических свойств) состоит из следующих глобальных геосистем: коры, мантии и ядра (Рис. 3а). Самая внешняя оболочка толщиной от 5 до 70 км – это кора. Она сложена магматическими, метаморфическими и осадочными породами с преобладающим химическим составом от основного до кислого. По строению и составу выделяют океаническую и континентальную кору. Океаническая кора выплавилась из мантии и сложена породами базальтового состава. Континентальная кора имеет преимущественно андезитовый («средний») состав, так как она образована широким рядом пород – от базальтового до гранитного. Важную роль играют метаморфические породы. В переходной зоне от материка к океану развиты типы коры промежуточного строения.

Мантия Земли состоит из пород ультраосновного состава. Химически она образована магнием (Mg, 12,7 %), железом (Fe, 34,6 %), кремнием (Si, 15,2 %) и кислородом (O, 29,5 %), а минералогически – оливином $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$. На глубине в 670 км ввиду возрастания давления происходит смена структур кристаллических решеток оливина. Здесь мантия делится на верхнюю и нижнюю.

Рис. 3а. Строение Земли (Советский энциклопедический словарь 1982, доп. и изм.). Условные обозначения: 1 – земная кора; 2 – верхняя мантия; 3 – нижняя мантия; 4 – внешнее ядро; 5 – переходная зона; 6 – внутреннее ядро; 7 – граница Конрада, маркирующая подошву гранитного слоя (показан крестами); 8 – граница Мохоровичича, маркирующая подошву базальтового слоя (показан галочками); 9 – осадочные породы; 10 – континентальная кора; 11 – океаническая кора. В правой части рисунка приведена круговая диаграмма соотношения основных образующих Землю элементов; 12 – прочие элементы



Ядро Земли радиусом около 3470 км сложено главным образом металлическим железом с примесью никеля (Ni). Внешнее ядро расплавленное, внутреннее – твердое.

От поверхности к центру Земли возрастают давление, плотность и температура: давление в центре Земли – $3,6 \times 10^{11}$ Н/м², плотность – около $12,5 \times 10^3$ кг/м³, температура – 4000–5000 °С.

Физически (то есть по изменению физических свойств) **выделяются следующие глобальные геосистемы**: литосфера и астеносфера. Литосфера – внешняя «каменная» оболочка Земли толщиной 20–300 км. Она включает кору и верхнюю часть мантии. Ниже существует астеносфера, в которой в масштабах геологического времени физические деформации происходят не в твердом теле (как в литосфере), а в эффективно жидкой среде. На границе литосферы и астеносферы температура составляет 1250 °С. На границе мантии и ядра меняются физическое состояние вещества с твердого (мантия) на жидкое (внешнее ядро) и химический состав с силикатного на металлический.

Земля имеет магнитное и тесно связанное с ним электрическое поле, генерируемое внешним жидким ядром **в результате сочетания трех глобальных природных процессов**: вращения планеты, конвекции и электропроводности во внешнем ядре. Изменение конвекции во внешнем ядре в результате ряда процессов, в том числе и орбитально-гравитационной природы, приводит к инверсиям магнитного поля. Инверсии происходят с разной периодичностью – от одного раза в 250 000 лет до раза в миллион лет.

Подробнее о строении Земли и ее основных структурах можно прочесть в книгах по общей и исторической геологии.

Сегодня большая часть Земли занята Мировым океаном (361,1 млн км²; 70,8 %), а суша составляет всего 149,1 млн км² (29,2 %) и образует шесть материков и острова. Кажется, что это *пример талассократического периода*, то есть времени *глобального* господства моря над сушей. В геологической истории закономерно чередуются интервалы времени, когда в *общепланетарном масштабе* доминируют то море, то суша (*геократическая эпоха*). Однако если проанализировать всю историю Земли, то современность – не что иное, как *геократия*.

Современная суша поднимается над уровнем Мирового океана в среднем на 875 м (наивысшая точка – вершина горы Джомолунгма, 8848 м); горы занимают свыше $\frac{1}{3}$ поверхности суши. Пустыни покрывают около 20 % поверхности суши, саванны и редколесья – около 20 %, леса – около 30 %, ледники – более 10 %. Свыше 10 % суши – под сельскохозяйственными угодьями.

Сейчас средняя глубина океана около 3800 м, наибольшая – 11022 м (Марианский желоб в Тихом океане), объем воды – 1370 млн км³, средняя соленость – 35 г/л.

Сегодня атмосфера Земли, общая масса которой $5,15 \times 10^5$ т, состоит из воздуха – смеси в основном азота (~78,08 %) и кислорода (~20,95 %), остальное – углекислый газ (~0,03%), водяные пары, инертные и другие газы. Максимальная температура поверхности суши 57–58 °С (в тропических пустынях Африки и Северной Америки), минимальная – около –90 °С (в центральных районах Антарктиды).

Распределение по широте и высоте над уровнем моря солнечной энергии, поступающей на Землю, вызывает в пределах географической оболочки закономерную смену климата, растительного и животного миров, почв (Советский энциклопедический словарь 1982; Малышев, Никишин 2008).

Глобальные геологические (природные) процессы Земли

Примером движения (циркуляции) верхних слоев Земли можно считать процесс дрейфа литосферных плит, который называют еще циклами Уилсона или концеп-

цией **тектоники плит** (Рис. 3б). Суть концепции в том, что поверхность Земли состоит из крупных изометричных блоков – плит (Рис. 3б, 3в), которые постоянно движутся в разных направлениях и с разными скоростями. Плиты рождаются (например, в срединно-океанических хребтах) и исчезают, погружаясь (субдуцируя) под другие плиты. В определенной степени это возможно представить в виде круговорота (циркуляции) плит (Рис. 3г). Погружающиеся участки плит в одном месте плавятся и дают начало образованию новых плит в другом месте (Рис. 3г).

Рис. 3б. Карта тектонических плит

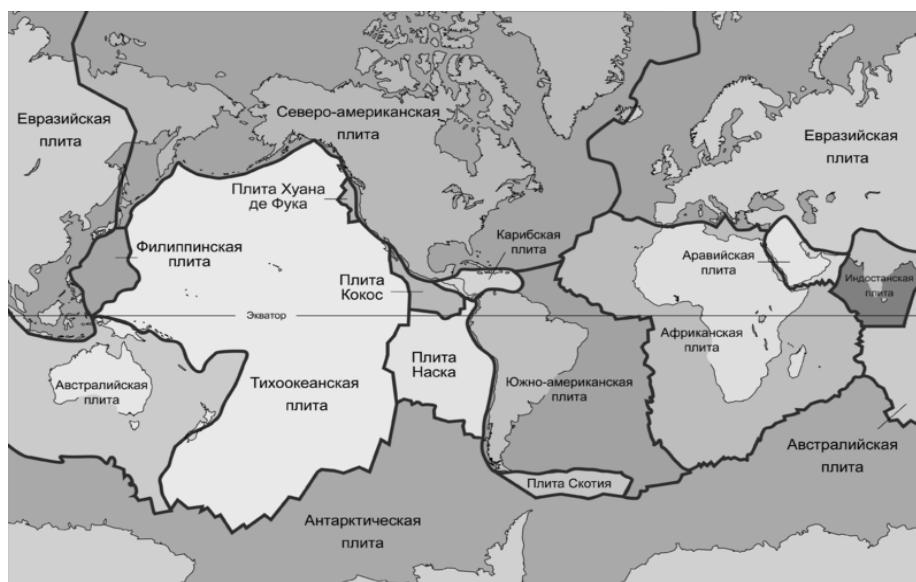
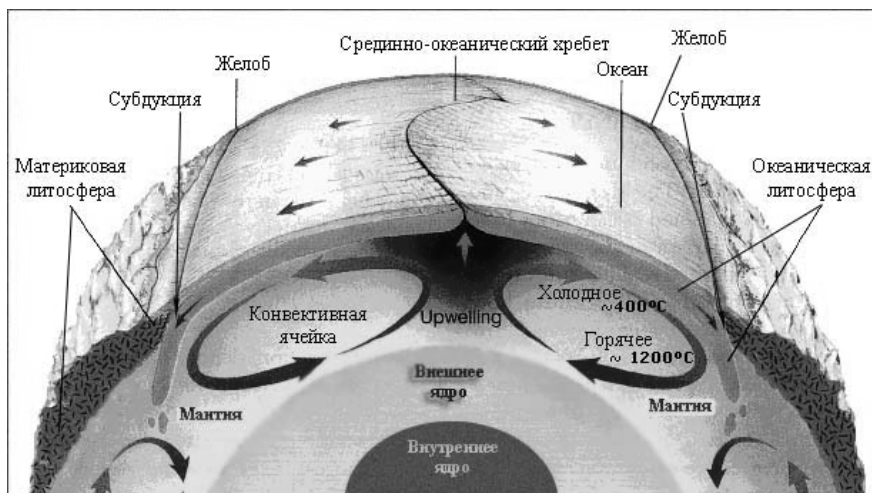


Рис. 3в. Исландия. Граница Северо-Американской (слева) и Евразийской (справа) тектонических плит



Рис. 3г. Геодинамическая модель современной Земли

Движением плит объясняют дрейф континентов, их распад и образование суперконтинентов, а также рождение, раскрытие и закрытие океанов. На границах плит происходят землетрясения, извержения вулканов. Все это – пример глобальных геологических природных процессов.

Происхождение Земли и глобальных геосистем

В геологической истории Земли возможно выделить несколько ключевых этапов (Малышев, Никишин 2008).

1. Около 4,6 млрд лет назад в ходе аккреции (формирования путем нарастания объема) из роя тел силикатного и металлического вещества, газов и комет образовалась планета Земля (впрочем, как и другие планеты Солнечной системы, обязанные своим возникновением звезде данной системы, Рис. 4). Длительность аккреции оценивается в 100 млн лет.

Земля росла в ходе падения на «родительское тело» бесконечного количества тел разных размеров. Начиная с какого-то радиуса растущей планеты, падение тел стало приводить к ее сильному ударному разогреву и плавлению внешних зон. К концу аккреции Земля была горячей и близкой к плавлению, а ее внешняя часть толщиной в сотни километров была расплавлена и образовывала «океан» магмы.

В этих условиях плотные металлические компоненты погрузились вниз и образовали металлическое, в основном железное жидкое ядро, а силикатное вещество сформировало мантию. Основная часть воды не входила в состав полурасплавленного тела, а образовывала плотную атмосферу из пара и газов (в основном углекислого газа и азота [Малышев, Никишин 2008]).

2. Около 4,4–4,3 млрд лет назад поверхность Земли стала остывать из-за значительного снижения потока метеоритных тел. В этих условиях при охлаждении «океана» магмы на его поверхности появилась твердая кора – первичная кора Земли, возможно, базальтового состава. Поверхность Земли продолжала испытывать метеоритную бомбардировку, и на ней формировались многочисленные ударные кратеры разных размеров. В местах падений астероидов происходили излияния лав. Как только температура поверхности Земли стала меньше температуры кипения воды, из прото-

атмосферы на поверхность выпало огромное количество воды, образовав Мировой океан (Рис. 5). Какая-то часть воды выделилась на поверхность и из мантии при ее охлаждении и кристаллизации. Около 4,3 млрд лет назад на поверхности планеты при наличии горячей воды появились условия для возникновения жизни в примитивных формах. Жизнь, как считает большинство ученых, была привнесена тем или иным путем из космоса (Рис. 6; см. Малышев, Никишин 2008).

Рис. 4. Эволюция звезды (1) и ее системы (2) согласно концепции образования протозвездной туманности из рассеянного газа и пыли под воздействием гравитационного сжатия (см.: Миттон С., Миттон Ж. 1995). Суть концепции: на первом этапе (1) внутри облака, состоящего из молекул, возникают скопления водорода и пыли (1а). Далее в центре одного такого образования рождается протозвезда (1б). Материал мигрирует с обоих полюсов тела и собирается в экваториальной части (1в). Вокруг звезды возникает диск пыли и газа – генератор планетной туманности (1г). Далее, на втором этапе (2), из диска за 100 млн лет могут сформироваться планеты. Туманность аккумулируется вокруг протозвезды (2а). Туманность охлаждается, в ее недрах рождаются и «набухают» сгустки, из которых через 50 млн лет возникают газовые планеты (2б). Наконец, во внутренней системе звезды из твердого вещества в результате аккреции, то есть формирования путем нарастания объема, формируются две планеты (2в).

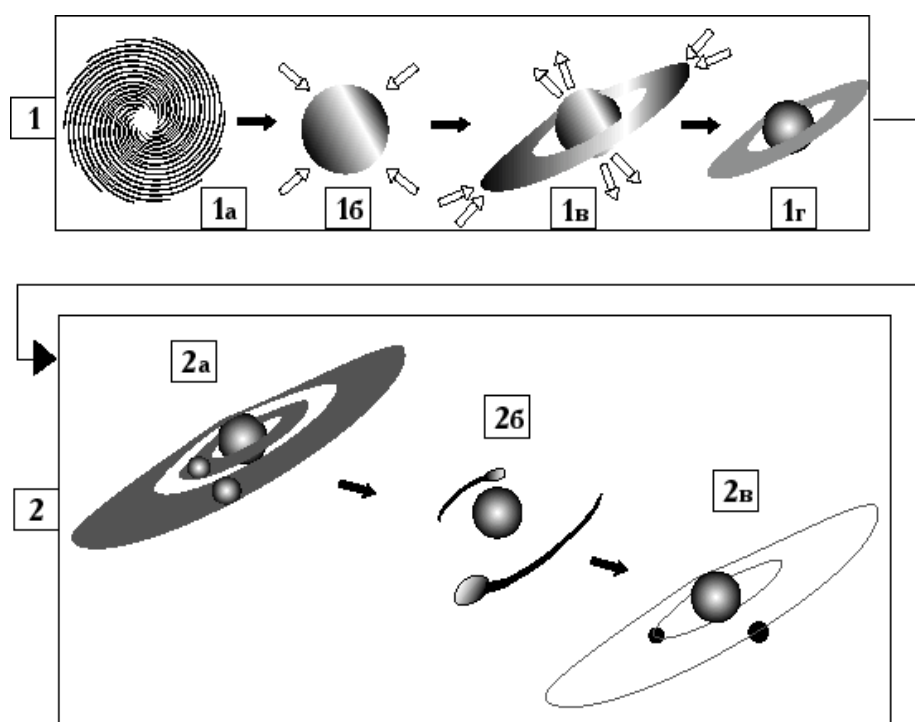


Рис. 5. Пейзаж Земли в архее, около 4 млрд лет назад: огромная Луна на небе, скалы и вода, лишенные жизни, падающие астероиды (<http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/595>)



Рис. 6. Марсианский метеорит ALH84001 (web.mit.edu)



Справка: пока следов жизни на Марсе не обнаружено, но на Землю упало более 17 достоверно марсианских метеоритов. В одном из них – ALH84001, возрастом около 4,5 млрд лет, в 1996 г. упавшем в Антарктиде, найдены образования, напоминающие окаменелые бактерии. Возможные следы жизни на Марсе были найдены на Земле.

3. Около 4,3–4,0 млрд лет назад началась тектоника плит. Она зародилась в ходе сочетания разных факторов: конвекционных течений в мантии и всплытия мантийных плюмов – узких, каплевидных, поднимающихся в твердом состоянии участков мантии (Рис. 7), пытавшихся смещать части литосферы; формирования участков с плотной литосферой из-за наличия плотных лав ультраосновного состава (коматиитов), и эти части литосферы готовы были тонуть в нижележащей горячей и менее плотной астеносфере (прообраз процесса субдукции, то есть гравитационного погружения более тяжелой литосферы в более легкую астеносферу). Так или иначе, до 4 млрд лет назад литосфера Земли разделилась на плиты и в зонах их раздвижения формировалась новообразованная океаническая кора, а в областях сдвижения обособились зоны субдукции и (или) скучивания литосферы. Над зонами субдукции и в местах тектонического скучивания и утолщения базальтовой коры начала формироваться магма андезитового состава, ставшая основой для формирования вещества коры будущих континентов (Малышев, Никишин 2008).

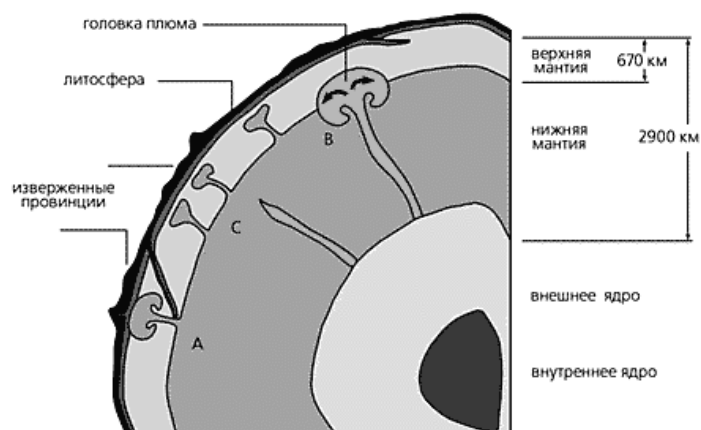
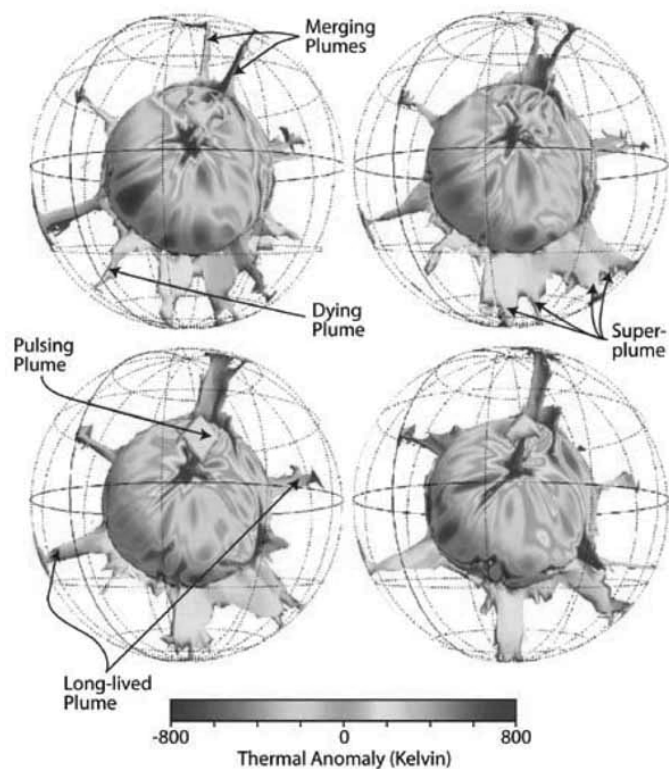
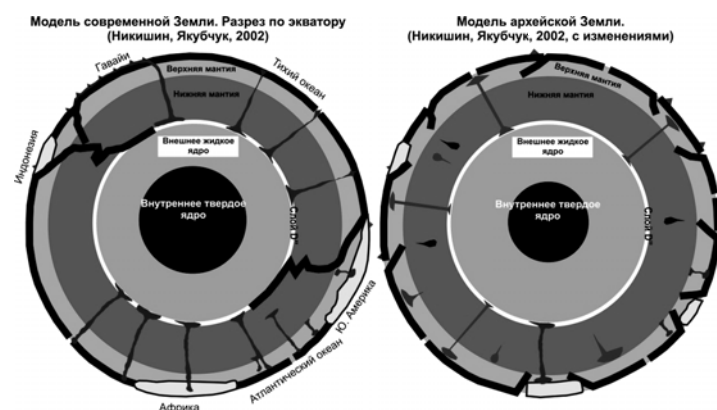
Рис. 7а. Плюмы (<http://plate-tectonic.narod.ru/geodynamicsphotoalbum.html>)**Рис. 7б.** Геодинамическая модель современной Земли. Плюмы разных видов отрываются от внешнего ядра, образуют пример глобальной циркуляции вещества в недрах Земли (<http://www.olegyakupov.com/Translations/Seamount-Windows.htm>)

Рис. 7в. Сравнительная характеристика моделей современной (слева) и архейской (справа) Земли (Малышев, Никишин 2008). Видно, что в архее протекала тектоника верхнемантийных плит



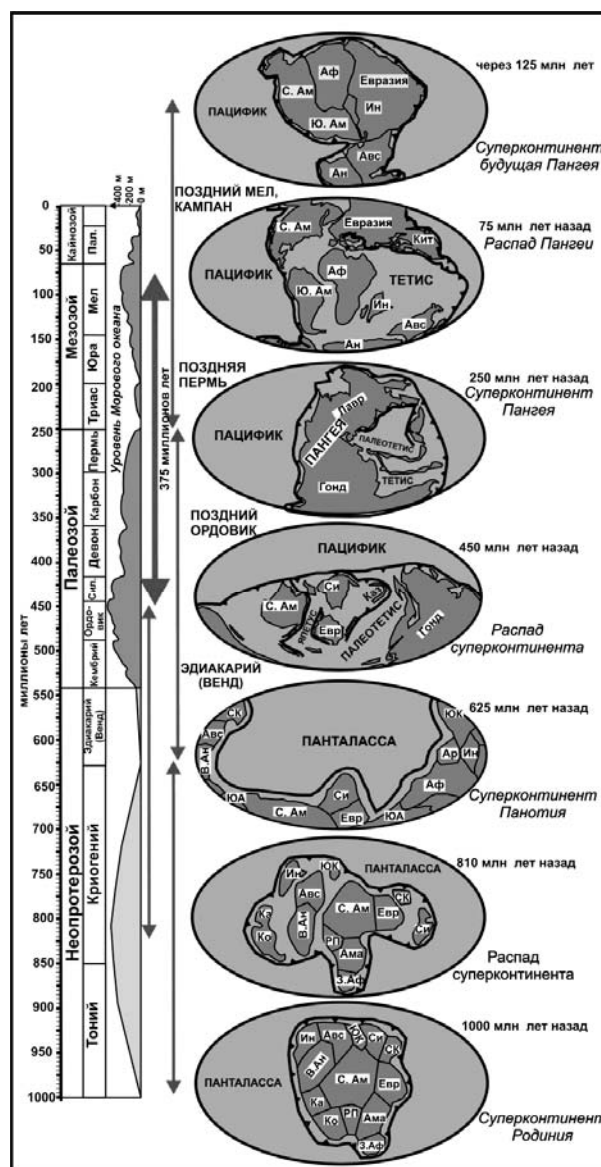
4. 4,0–2,5 млрд лет назад (архей). Господство тектоники плит и тектоники мантийных плюмов. Первичная кора была полностью погружена в мантию.

Над зонами субдукции стали формироваться вулканические дуги с андезитами. Столкновения дуг привели к формированию первых участков («ядер») континентальной коры. В ходе этого этапа сформировалось не менее 50–70 % объема вещества современной континентальной коры. Мантия была более горячей, чем современная, и субдуцированная в нее литосфера быстро разогревалась, не проникая в нижнюю мантию. Из горячей мантии выплавлялось большое количество лав ультраосновного состава – коматитов. Земная поверхность в основном была представлена океаном с корой базальт-коматитового состава, из которого на поверхность выходили многочисленные вулканические дуги и внутриплитные и межплитные вулканические плато (типа современной Исландии). В океане существовала примитивная жизнь: в породах возрастом 3,9 млрд лет известны изотопные системы, формировавшиеся в биологических циклах, а в породах моложе 3,5 млрд лет найдены следы жизнедеятельности цианобактерий. К рубежу 2,5 млрд лет назад (концу архея) в процессе столкновения многочисленных ядер с континентальной корой и крупномасштабного гранитоидного магматизма сформировались крупные континенты (или один – первый суперконтинент Кенорлэнд). Древнейшие континентальные озерно-речные системы известны в Южной Африке (2,9 млрд лет назад). В начале архея вода в океане была горячей. Рубеж 2,4–2,3 млрд лет назад знаменуется первым известным глобальным Гудзонским оледенением (значит, к тому времени климат стал сопоставимым с кайнозойским [Малышев, Никишин 2008]).

5. 2,5–0 млрд лет назад (протерозой – фанерозой). Господство тектоники суперконтинентальных циклов на фоне непрерывной тектоники плит и тектоники мантийных плюмов. Общее охлаждение Земли привело к тому, что субдуцированное вещество стало достигать низов мантии. Это привело к упорядочиванию всей системы конвекции в мантии и глобальным долговременным тектоническим суперконтинентальным циклам (Рис. 8, 9). Континенты непрерывно распадались и собирались, океаны раскрывались и закрывались, но на фоне кажущегося хаоса через каждые 750 млн лет образовывались относительно стабильные суперконтиненты, состоявшие почти из всех имевшихся континентальных масс (1750 млн лет назад – Колумбия, 1000 млн лет назад – Родиния, 250 млн лет назад – Пангея). Менее стабильные во

времени суперконтиненты образовывались, возможно, в середине суперконтинентального цикла (2125, 1375 и 625 млн лет назад). Общее охлаждение Земли приводило к постоянному увеличению среднего размера литосферных плит и к их некоторому утолщению. Менялся состав океанической коры – от коматиит-базальтового к базальтовому. В зонах коллизий (столкновений) континентов и на активных континентальных окраинах непрерывно формировались горы, максимальные высоты которых плавно увеличивались по мере эволюции Земли (Малышев, Никишин 2008).

Рис. 8. Глобальная история: цикличность в образовании и распаде суперматериков (Малышев, Никишин 2008)



Анализируя палеогеографию, отметим, что историю Земли можно разделить на эпохи, когда суша господствовала над морем (геократия) и, наоборот, море над сушей (талассократия). С этим тесно взаимосвязаны вариации климата и проявления тектонической активности. В качестве примера рассмотрим фанерозойскую часть геологической истории. В палеозойской эре можно выделить два тектоно-магматических цикла развития: каледонский (первая половина эры) и герцинский (вторая половина эры). Каждый из циклов начинался с возникновения океанов и заканчивался их полным или частичным закрытием.

В конце протерозоя, в венде и до конца раннего кембрия происходили расширение океанических бассейнов и наступление моря на сушу (трансгрессия), что привело к затоплению целого ряда континентальных массивов (в основном в Северном полушарии). Средний и поздний кембрий – время отступления океанических вод (регрессия), что совпадает по времени с салаирской фазой горообразования (складчатости).

В ордовик-силурийское время на планете вновь установились талассократические условия. В Северном полушарии до 32 % площади суши затоплено. Небольшая регрессия в позднем ордовике связана с оледенением и проявлением таконской фазы складчатости. В конце силура происходит почти повсеместная регрессия моря на континентах, осушение большей части их площади, синхронное с позднекаледонской фазой складчатости.

Площадь континентов под морем сокращается на 8 %. В начале девона начинается геократическая эпоха. На границе среднего и позднего девона происходит акадская фаза складчатости.

Климат первой половины палеозойской эры был подобен современному, но, вероятно, более теплый по среднегодовым температурам. Как и сегодня, существовала климатическая зональность: гумидные, аридные, а для позднего ордовика – и полярные области и пояса. В начале раннего ордовика существовали только гумидные условия, в конце его произошло потепление климата и появление аридных зон. В начале среднего ордовика имела место гумидизация климата, а в его конце – потепление климата, появление аридных зон на всех континентах. В позднем ордовике произошло похолодание, гумидизация климата, оледенение. В раннем силуре был прохладный, гумидный климат, а в позднем произошло потепление, имела место аридизация климата.

Особенности осадконакопления: в мелководно-морских бассейнах преобладают карбонатные отложения, причем уже не доломиты, а известняки, и не хемогенные, а органические. Это связано с уменьшением концентрации CO_2 в атмосфере и гидросфере и развитием органического мира. Широкое распространение получают фосфориты и эвапориты.

На границе силурийского и девонского периодов происходит позднекаледонская фаза складчатости, а на границе среднего и позднего девона – акадская. Начало девонского периода – геократическая эпоха, более значительная, чем в позднем кембрии. Большая часть палеоконтинентов освободилась от покрывавших их морей.

Со среднего девона вновь наступает талассократическая эпоха, но менее значительная, чем в ордовике и силуре. До 30 % площади палеоконтинентов затоплено.

С середины каменноугольного периода проявляются различные фазы герцинской складчатости, происходит регрессия. Имеет место крупнейшая геократическая эпоха, продолжающаяся и в триасе – первом периоде мезозойской эры. Формируется суперконтинент Пангея-2.

Резко усиливается климатическая дифференциация, особенно в геократические эпохи. Со среднего карбона по пермь существуют все климатические зоны от тропической до полярной.

Среди морских отложений резко сокращается роль известняков. С наступлением геократических эпох широкое распространение получают лагунные отложения в регрессирующих платформенных бассейнах и краевых прогибах: гипсо- и соленосные в засушливом климате и угленосные – во влажном.

На вторую половину палеозоя и начало мезозоя выпадает максимум угленакпления в истории Земли: девонский период – 0,001 %, каменноугольный – 21 %, пермский – 27 %, триас – 0,04 % разведанных запасов.

Триас – ранняя юра – геократическая эпоха, продолжающая позднепалеозойскую. Существует суперматерик Пангея-2. В конце триаса – начале юры происходит древнекиммерийская (индосинийская) фаза складчатости. Затем до конца мелового периода длится талассократическая эпоха.

Климат в триасе был засушливый, в юрском и меловых периодах – теплый, мягкий, влажный. Повышение температуры происходило при усилении талассократии. Вообще отсутствовали холодные климатические области. Почти отсутствовала южная умеренная зона. Антарктида располагалась в зоне субтропического климата. Теплые и жаркие области преобладали над умеренными. Области жаркого влажного климата преобладали над аридными.

Специфическое широкое распространение получили в областях умеренного климата песчано-глинистые отложения с глауконитом и фосфоритами; в областях теплого климата – формация писчего мела, а местами – гипсовые и соленосные отложения.

В талассократическую эпоху (юрский и меловой периоды) доминировали песчано-глинистые угленосные отложения. За это время произошло существенное накопление углей в истории Земли (почти 40 %): в юрский период – 16 %, в меловой – 21 % разведанных запасов.

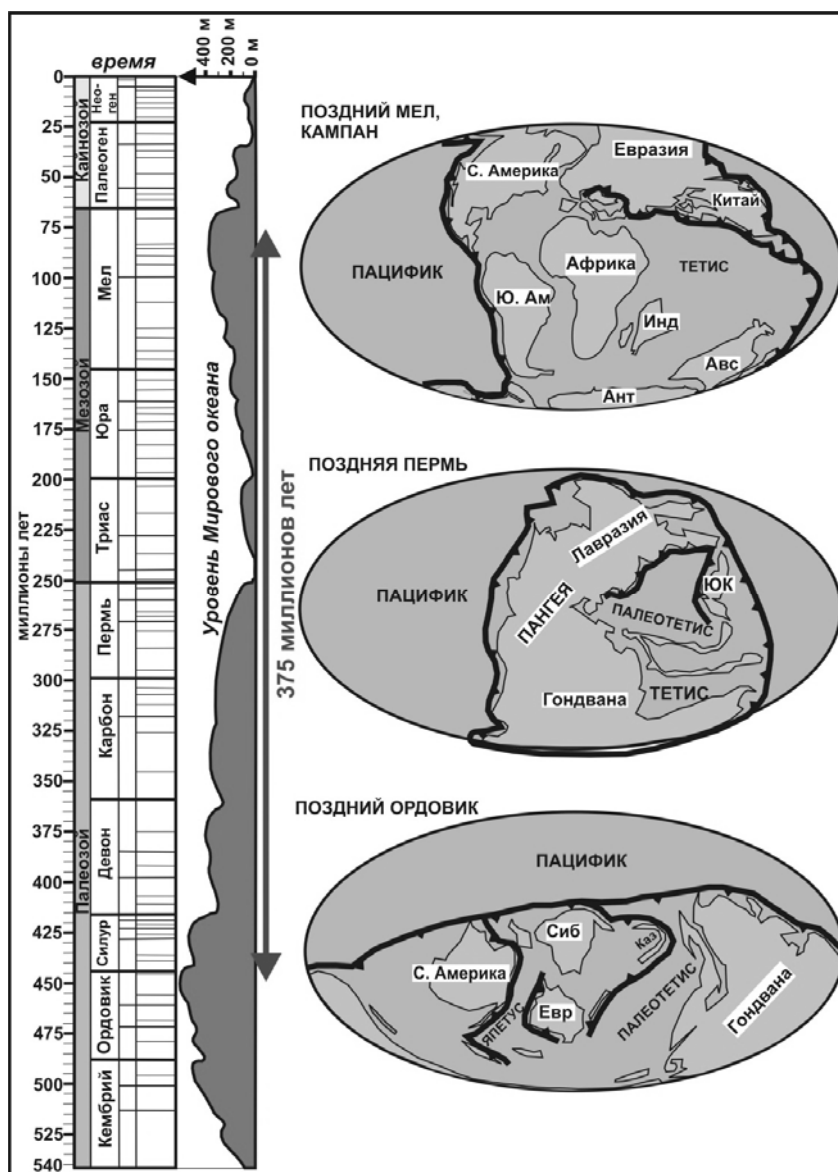
В конце палеозойской и в начале мезозойской эры произошло крупнейшее проявление траппового магматизма на континентах. Площадь излитых базальтовых лав составила более 6 млн км². Объем – более 4 млн км³. В конце мезозойской эры в Мексиканский залив упал астероид диаметром около 11 км. В середине мезозоя произошла невадийская фаза складчатости, а в конце – ларамийская.

С середины мезозойской эры началось раскрытие молодых океанов – Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов, – приведшее к расколу суперматерика Пангея-2.

В конце палеогенового периода произошли различные проявления альпийской складчатости. Сейчас по периферии Тихого океана сохраняется тектоническая активность. В кайнозойскую эру облик Земли был близок к современному. Палеогеновый период – время последней талассократической эпохи, с неогенового периода началась геократическая эпоха. В палеогеновое время климат был в целом теплый, а начиная с неогена климат стал прохладнее. Часто происходили оледенения.

Изменения уровня Мирового океана большого масштаба тесно связаны не только с климатом, но и с тектоническими движениями в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Минимальный уровень приходится на периоды образования суперматериков, а максимальный уровень – на времена их максимального рассеивания. Этот *глобальный тектонический период (или цикл)* оценивается в 375 млн лет (Рис. 9 [Малышев, Никишин 2008]).

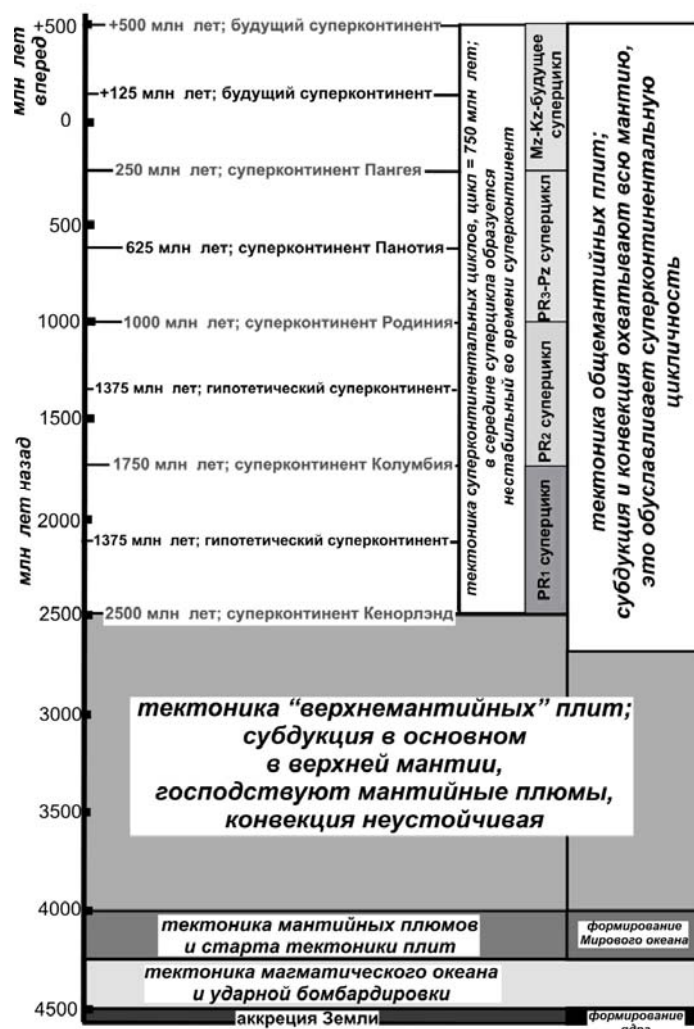
Рис. 9. Глобальная история: цикличность в образовании и распаде суперматериков на примере позднепалеозойского суперконтинента Пангея-2 (Малышев, Никишин 2008)



Резюмируя большую часть геологической истории планеты, отметим, что четко выделяются две тенденции: цикличность и направленность (или точнее – необратимость, см. Рис. 10), причем знание этих закономерностей позволяет моделировать геологическое будущее планеты, например возникновение нового суперконтинента приблизительно через 0,5 млрд лет.

Рис. 10. Глобальная история: цикличность и необратимость в модели развития Земли (Малышев, Никишин 2008)

Модель геологической истории Земли



В ходе протерозоя – фанерозоя развивалась жизнь. Отметим важнейшие рубежи эволюции жизни: около 2–2,2 млрд лет назад – появление клеток с ядрами и многоклеточных организмов; 620–540 млн лет назад (венд) – широкое распространение многоклеточных морских бесскелетных организмов; 542 млн лет назад (начало кембрия) – появление разных типов скелетных организмов; силур (443–416 млн лет назад) – появление наземной растительности и выход животных на сушу; со среднего девона (около 400 млн лет назад) начинается углеобразование, массовый процесс которого приходится на конец раннего-позднего карбона (345–300 млн лет назад). В конце раннего карбона (около 320 млн лет назад) появляются и первые рептилии, первые млеко-

питающие возникают в середине позднего триаса (около 260 млн лет). Человек появляется около 1 млн лет назад.

За последние 2,4 млрд лет климат был относительно стабилен: эпохи глобальных потеплений сменялись менее продолжительными эпохами с глобальными оледенениями (0–10, 290–325, 445–455, 580–600 млн лет назад и ранее).

В атмосфере около 1,5 млрд лет назад стало возрастать заметное содержание кислорода, и постепенно ее состав приближался к современной (Малышев, Никишин 2008).

Библиография

- Абылгазиев И. И., Габдуллин Р. Р., Ильин И. В., Иванов А. В., Яшков И. А. 2011. *Глобальные социоприродные процессы и системы*. М.: Изд-во МГУ.
- Габдуллин Р. Р., Ильин И. В., Иванов А. В. 2011. *Введение в палеоглобалистику*. М.: Изд-во МГУ.
- Малышев Н. А., Никишин А. М. (Ред.) 2008. *Геология для нефтяников*. М.; Ижевск: Изд-во РХД-ИКИ.
- Миттон С., Миттон Ж. 1995. *Астрономия*. М.: Росмэн.
- Советский энциклопедический словарь 1982 / Ред. А. М. Прохоров и др. М.: Советская энциклопедия.