

Лекция № 11. САМООРГАНИЗАЦИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ

Наша планета Земля, несомненно, самая красивая планета Солнечной системы. Это не мертвенно-серый, изрытый оспинами метеоритных кратеров Меркурий. Не окутанная сплошным и густым облачным покровом Венера, не красноватый Марс, не обвитые кольцами Юпитер и Сатурн. Земля притягивает взор прежде всего голубизной океанских и морских просторов, сверкающими под лучами Солнца ледяными шапками Гренландии и Антарктиды, разнообразием оттенков поверхности континентов: темно-зеленые просторы тайги и более светло-зеленые тропических лесов, желтые пятна пустынь, коричневые морщины горных хребтов с покрывающими их вершинами ледников.

Главные черты рельефа Земли – распределение на ее поверхности континентов и океанов, горных хребтов и равнин, предопределившие размещение водных бассейнов и внутренних морей, озер, рек, ледников и различной растительности, – обязаны действию внутренних (эндогенных) сил, источник которых лежит в глубинных недрах Земли: тех самых сил, которые наиболее наглядно проявляют себя землетрясениями и вулканическими извержениями, но гораздо менее заметно действуют постоянно, за миллионы лет приводя к коренным изменениям земной поверхности. Континенты оказываются построенными менее плотным, более легким материалом, чем дно океанов. Механизм континентального горообразования до полной ясности еще не сформулирован. Однако главный фактор формирования рельефа земной поверхности установлен: им является взаимодействие движущихся в горизонтальном направлении литосферных плит. Состав и строение глубинных оболочек Земли в последние десятилетия продолжают оставаться одной из наиболее интригующих проблем современной геологии и всего естествознания в целом. Земля – это чрезвычайно сложная самоорганизующаяся система.

Еще в VI веке до нашей эры Пифагор утверждал, что Земля имеет форму шара и свободно и неподвижно висит в центре Вселенной. Вокруг нее движутся имеющие форму шара планеты и Солнце, окруженные небесной сферой с рассыпанными на ней звездами. Однако уже тогда Филолай впервые сформулировал предположение о том, что Земля не есть центр Вселенной. Первые четкие представления шарообразности Земли сформулированы Аристотелем. Обратив внимание на форму Луны в различных фазах, Аристотель утверждал, что с Земли такую картину можно видеть только в том случае, если Луна – шар. Но если Луна – шар, то из естественных соображений надо предположить, что и Земля – шар. Второе доказательство шарообразности Земли Аристотель связывал с лунными затмениями. Справедливо полагая, что лунное затмение – это прохождение тени Земли по лунному диску, он обратил внимание на форму тени, соответствующую тени шарообразной формы.

Современные представления о форме и размерах Земли состоят в следующем. В качестве математически удобной и достаточно близкой к

реальной фигуре Земли модели принимается *эллипсоид вращения* – пространственная фигура, получаемая вращением эллипса вокруг одной из его осей (для Земли – малой оси). Еще более близким к реальной поверхности Земли считают *геоид*. Это фигура, которую образовала бы поверхность Мирового океана, будь она свободна от всяческих возмущений (приливов, неоднородностей атмосферного давления и т.п.). Представить такую поверхность можно, продлив поверхность океана под континенты. Геоид и эллипсоид вращения, описывающие поверхности Земли, достаточно близки друг другу. Приведем основные характеристики земного эллипсоида. Большая полуось (радиус экватора) эллипсоида – 6 378 160 метров, малая полуось (половина расстояния между полюсами) – 6 356 912 метров.

Движение Земли во Вселенной достаточно сложно. Земля движется вокруг Солнца со скоростью около 30 км/с. При этом Земля вращается вокруг оси. Скорость движения тела на поверхности зависит от широты, в средних широтах она близка к 250 м/с. Но и ось вращения Земли не является неподвижной. Из-за влияния Луны и жидких оболочек она описывает в пространстве коническую поверхность. Ось конуса перпендикулярна к плоскости эклиптики. Это движение называется *прецессией*. Она знакома каждому, кто когда-либо запускал детский волчок. Период прецессии – около 24000 лет. Вследствие прецессии ось вращения Земли в разные эпохи направлена на разные звезды. Полярная – самая яркая звезда близ теперешнего северного *полюса мира* – не всегда будет указывать на полюс. Примерно через 12 тысяч лет вблизи полюса будет находиться звезда Вега. Ежегодно направление земной оси отклоняется на 50 угловых секунд. Но и это еще не все. Во время прецессии земная ось “кивает” с амплитудой около 9 угловых секунд. Период этого процесса (*нутации*) – около 19 лет.

Масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, средняя плотность – 5500 кг/м³. Это значение существенно превышает среднюю плотность пород, образующих доступную для исследований кору Земли, т.е. плотность земных недр существенно выше средней плотности.

Что на сегодняшний день известно о строении Земли? При исследовании Вселенной мы имеем один утвержденный инструмент – электромагнитное излучение. Для исследований недр Земли этот инструмент непригоден. С помощью глубинного бурения достигнуты глубины около 16 км. Только с такой глубины, геологи имеют образцы пород. Причем скважин такой глубины единицы.

Однако появился новый инструмент – звук, акустические колебания. При землетрясениях и взрывах возникают упругие волны двух типов: продольные (разрежения – сжатия) и поперечные (сдвиговые). Эти волны распространяются в упругой среде и могут быть зафиксированы с помощью приборов. Скорость продольных волн – около 8 км/с, поперечных – 4 км/с. Чем плотнее среда, тем больше скорость распространения упругих волн, тем слабее они затухают с расстоянием. Если бы недра Земли были однородны, то порожденные взрывом или землетрясением продольные и поперечные волны должны были бы, слегка ослабнув, дойти до любой точки поверхности

Земли. Этого не происходит. Результаты наблюдений показывают, что Земля неоднородна и состоит из слоев разной плотности, причем через внутренние слои упругие поперечные волны не проходят. Таким образом, внутри Земли есть жидкие оболочки.

Современные представления о внутреннем строении Земли состоят в следующем (рис. 1). На глубину в среднем 35 км простирается кора (под материками толщина коры до 70 км, под океанами 5 – 10 км), то есть 16 километровая скважина – слабый укол поверхностных слоев. Материковая кора сложена в основном из гранитов. Океаническая – из базальтов. Граниты содержат больше двуоксида кремния (SiO_2) и меньше железа и магния, чем базальты, т.е. состав коры неоднороден. Астеносфера (от греч. *asthenes* — слабый и сфера), слой пониженной твердости, прочности и вязкости в верхней мантии Земли. Расположен на глубинах около 100 км под континентами и около 50 км под дном океана; нижняя граница его находится на глубинах 250—350 км.

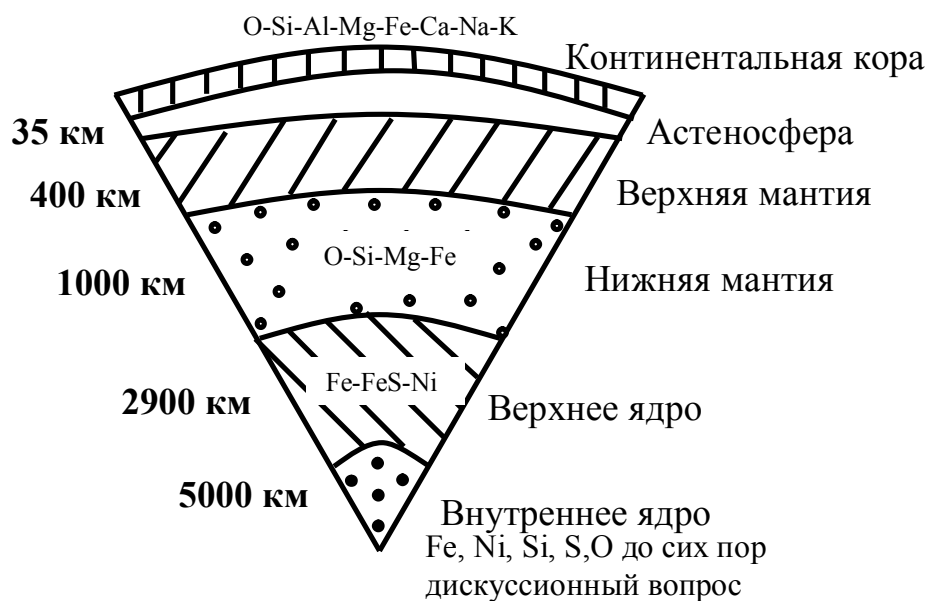


Рис. 1. Внутренние оболочки Земли

На глубину до 400 км простирается верхняя мантия. На расстоянии около 2900 км от поверхности начинается нижняя мантия, а на глубине 4000 км – внутреннее ядро.

По современным геофизическим данным внешнее ядро жидкое. Именно оно не пропускает поперечные упругие волны, пропуская продольные. Давление на этой глубине превышает 500 000 атм., температура – несколько тысяч Кельвин (рис. 1).

Внешнее ядро состоит, по-видимому, из желтого железа с примесью кремния и никеля и их соединений с серой и кислородом. На глубине, превышающей 5000 км, находится твердое ядро. Состав его близок к составу внешнего ядра. **Твердое ядро “плавает” в жидкой оболочке.**

Развитие Земли есть часть истории химических элементов, в течение которой сложились определенные пропорции количественных соотношений

атомов. Распространенность химических элементов на Земле с ростом порядкового номера убывает неравномерно (рис.2), причем элементы с четным порядковым номером более распространены, чем с нечетным, особенно элементы с массовым числом, кратным 4, например, He, C, O, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca. Удивительно, но точно такая же кривая отвечает распространенности химических элементов во Вселенной! Ряд максимально соответствует элементам с ядрами, у которых число протонов и нейтронов равно 2, 8, 20, 50, 82, 126. Этим “магическим числам” соответствуют устойчивые ядра. Поэтому по поводу американские космохимики Г. Юри и Г. Зюсс сказали так: “Представляется, что распространенность элементов и их изотопов определяется ядерными свойствами и что окружающее нас вещество похоже на золу космического ядерного пожара, в котором оно было создано”.

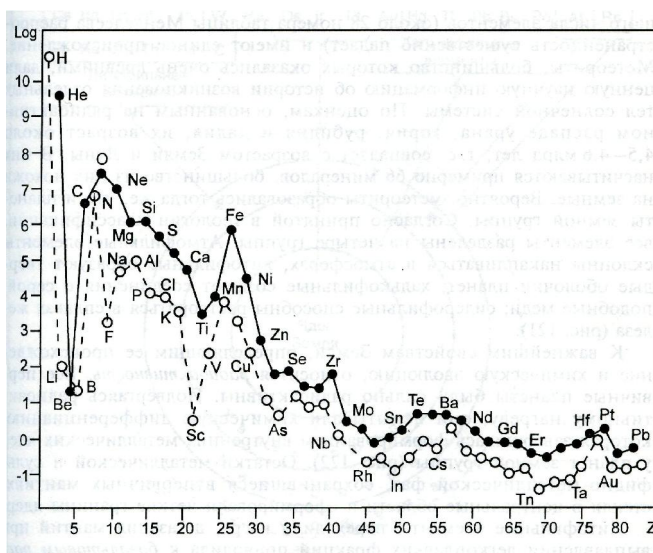


Рис. 2. Относительная атомная распространенность химических элементов в солнечной системе в зависимости от порядкового номера (черные кружки – четные элементы, светлые – нечетные)

Таблица 2

Химический состав геосфер и оболочек Земли

Оболочка геосфера	Содержание (в весовом проценте)					
	N	H	C	O	S	металлы
Ядро	–	следы	–	следы	следы	99
Мантия	–	следы	следы	40,0	16,0	43,0
Земная кора	–	0,14	0,15	46,7	27,7	24,5
Гидросфера	следы	10,7	0,28	86,0	следы	1,28
Атмосфера	74,5	0,14	0,01	24,1	–	–
Биосфера	2,2	9,1	14,0	73,0	–	1,0

Большинство газов (или летучей части солнечного вещества) – H, He, CO, O, N, CO₂ и все инертные газы. Земля содержит летучие элементы в той степени, в какой они проявляли свою активность, поэтому инертные газы в

них редки. Основную часть планеты составляют нелетучие элементы солнечного вещества – Si, Fe, Vg, Ca, Al, Ni, Na. Таким образом, Земля, как и все тела солнечной системы, построены из небольшого числа элементов (около 28 номера таблицы Менделеева распространённость резко падает).

Как любое нагретое тело, Земля имеет собственное тепловое излучение (приходящееся на ИК диапазон длинных волн). Нагрев Земли связан с внешними (солнечное излучение, космическое излучение, приливное трение) и внутренними (теплопередача от нагретых недр, радиоактивный распад в глубинах Земли, хозяйственная деятельность человека) источниками. Вследствие радиоактивного распада в недрах, Земля выделяет до $0,02 \text{ Вт/м}^2$. За счёт тепловых потоков из недр Земля теряет до $0,02 \text{ Вт/м}^2$.

В 1958 г. было обнаружено, что верхние слои атмосферы Земли (высоты от 100 до 300 км) излучают избыточную энергию в ИК (тепловом) диапазоне длинных волн. Исследования показали, что излучение связано со сложными процессами взаимодействия коротковолнового (УФ и рентгеновское) излучения Солнца с молекулами газов (в основном азота и кислорода). В наше время ИК– излучению верхних слоев атмосферы отводится важное место в проблеме влияния солнечной активности на погоду.

Радиоактивность является важнейшим свойством Земли, определяющим ее происхождение, химическую эволюцию, а также является существенным фактором теплового баланса Земли. По словам В. И. Вернадского, “...количество создаваемой радиоактивным процессом тепловой энергии не только достаточно для того, чтобы объяснить потерю Землею тепла все динамические и морфологические воздействия внутренней энергии планеты на ее поверхность – земную кору, но и для того, чтобы поднять ее температуру..”.

Все первичные планеты были сильно радиоактивны. Так, например 4,5 млрд лет назад ^{235}U на Земле было в 2 раза больше, чем сейчас. Подвергаясь радиоактивному нагреву, планеты испытывали химическую дифференциацию, которая завершилась формированием внутренних металлических ядер у планет земной группы. Литофильные элементы (образующие твердые оболочки планет) переходили вверх, дегазация мантий при выплавлении легкоплавких фракций приводила к базальтовым расплавам, которые тоже изливались на поверхности планет. Газовые компоненты, вырывающиеся вместе с ними, дали начало первичным атмосферам, которые смогли удержать только крупные планеты. Таким образом, Земля, как наиболее массивная из внутренних планет, прошла самый сложный путь химической эволюции. На последних стадиях остывания солнечной туманности возникли сложные органические соединения, обнаруженные в метеоритном веществе, которые были усвоены нашей планетой и привели к развитию жизни.

Магнитное поле. С Землей связано магнитное поле, сходное с полем, создаваемым плоским магнитом, ось которого проходила бы через центр Земли, но была бы наклонена примерно на 20 градусов к оси вращения (рис. 3).

Наличие магнитного поля у Земли не есть что-то необычное для Вселенной: и звезды, и планеты, и галактики имеют магнитные поля. Причем они могут быть и сильнее, и слабее земного. У. Гилберт первый обнаружил магнитное поле приблизительно в 1600 г., хотя земной магнетизм использовался гораздо раньше в примитивных компасах. Магнитное поле Земли имеет сложную структуру, на его форму серьезное влияние оказывает солнечный ветер – поток заряженных частиц, выбрасываемых Солнцем. Поток частиц, составляющих солнечный ветер, уже на расстоянии около 10 радиусов Земли от поверхности Земли попадает в достаточно сильное магнитное поле.

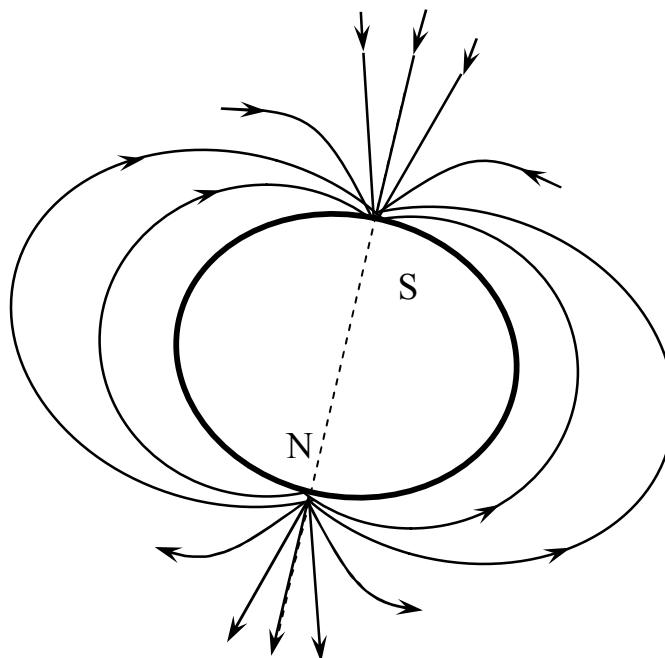


Рис. 3. Магнитное поле Земли

Частицы обтекают условную поверхность, называемую границей магнитосферы. Магнитное поле планеты под действием солнечного ветра становится несимметричным, вытягиваясь в сторону, противоположную Солнцу (рис. 4). К Солнцу оно простирается на 70 – 80 тыс. км., от него – на многие миллионы километров. Магнитное поле Земли достаточно слабое. У поверхности Земли магнитное поле составляет около 39,8 А/м, на границе магнитосферы – в тысячи раз меньше. Это на много меньше, чем магнитное поле, создаваемое бытовой магнитной защелкой. Наблюдая за стрелкой компаса, легко обнаружить, что проходящий в сотнях метров трамвай или электропоезд приводит к ее резким колебаниям, то есть создает магнитное поле, превышающее Земное.

Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими. Положения магнитных полюсов не постоянны и заметно изменяются из года в год. Это периодические (секулярные, вековые) смещения полюсов с периодом около 960 лет. Существуют и ежегодные и ежесуточные изменения положения полюсов. Однако они могут быть зафиксированы с помощью очень чувствительных приборов. Периодические измерения направления

магнитного поля показывают, что магнитное поле имеет тенденцию дрейфовать на запад на расстояние от 19 до 24 км в год.

Изучение древних вулканических камней, лавы показывают, что при охлаждении они “заморозили” направление магнитного поля, существовавшего в то время. Всемирные измерения таких минералов показывают, что через определенное геологическое время ориентация магнитного поля существенно изменилась, тогда, как ось вращения Земли переместилась значительно меньше.

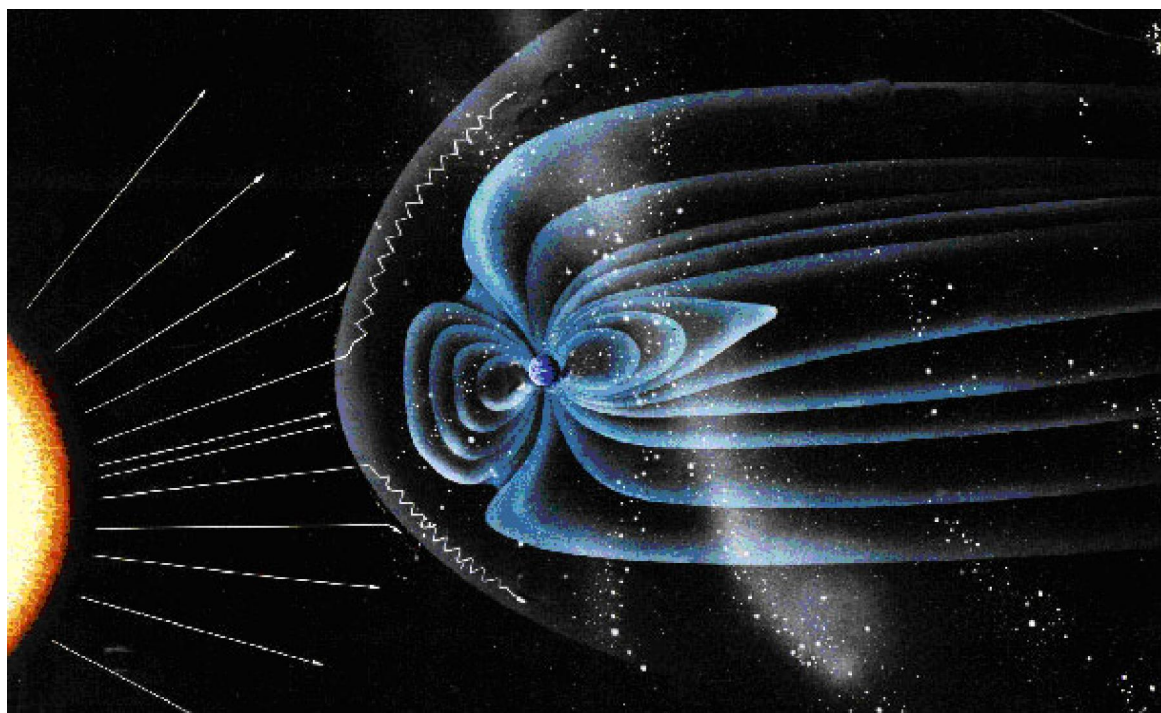


Рис. 4. Солнечный ветер и магнитосфера Земли

Северный магнитный полюс 500 млн. лет назад, например, был южнее Гавайских островов. Изучение остаточного магнетизма в вулканических породах показало, что магнитное поле Земли полностью меняло полярность по крайней мере 170 раз за последние 100 млн. лет. Изменение палеомагнетизма пород из различных точек поверхности Земли позволили обосновать гипотезу дрейфа континентов. На магнитное поле Земли в данной точке значительное влияние оказывает и состав горных пород. Залегающие породы могут значительно изменить как его величину, так и направление.

Атмосферное электричество (исключая связанное с зарядами внутри облаков и вызывающее электрический заряд – молнию), определяется ионизацией атмосферы солнечной радиацией и движением ионов вместе с атмосферными потоками. Атмосферные потоки определяются гравитационными притяжением Солнца и Луны и, подобно океанским течениям, находятся в постоянном установившемся движении. Ионизация воздуха и, следовательно, электрическая проводимость атмосферы около атмосферы Земли, мала, но быстро растет с увеличением высоты. На высотах от 40 до 400 километров имеется очень хорошо проводящий слой,

отражающий электромагнитные волны в радиодиапазоне (ионосфера). Ионизация атмосферы зависит от высоты, широты местности, времени суток.

Поверхность Земли имеет отрицательный электрический заряд. Проводимость воздуха около поверхности мала. Однако воздух не является совершенным изолятором и заряд должен был бы постепенно исчезать. Этого не происходит из-за взаимодействия с атмосферой. Оболочка Земли, лежащая выше границы, впервые обнаруженной югославским сейсмографом А. Мохоровичем, носит название коры (литосферы). Граница Мохоровича – это поверхность так называемого сейсмического раздела. На этой границе скорость распространения продольных упругих (сейсмических) волн при прохождении от поверхности Земли увеличивается от 6300 м/с до 7800 м/с, а поперечных от 3700 м/с до 4300 м/с. Средняя толщина коры 33 километра. Над океанами она тоньше (5 ÷ 15 км), под материками – толще (20 ÷ 75 км). Породы земной коры по происхождению делятся на три типа: **изверженные**, образованные при застывании магмы; **осадочные**, возникшие при осаждении частиц, разрушенных ветром и водой; **метаморфические**, сформированные из изверженных и осадочных пород. Все три типа пород образуют слоистую структуру земной коры. Выделяют три основных слоя: **осадочный, гранитный и базальтовый**. Постоянные движения литосферы в вертикальном и горизонтальном направлениях делают эту сложность достаточно условной.

Осадочная оболочка прерывистая, покрывает не всю поверхность. Толщина ее достигает 10 ÷ 15 км. Ниже залегает слой, сложенный гранитами, базальтом, метаморфическими породами. Излияния базальта через глубокие разломы земной коры послужили основанием для утверждения о том, что под гранитным слоем залегает слой, состоящий из более тяжелой, чем гранит, базальтовой породы (рис. 5).

Гранитный слой, отсутствует на большой площади в центральной части Тихого океана и в отдельных наиболее глубоких областях Атлантического океана. Здесь на поверхность океанического дна выходит непосредственно базальтовый слой. Мощность этого слоя под материками колеблется от 10 до 40 км.



Рис. 5. Строение земной коры

Изверженные, или магнетические породы составляют около 50% общей массы горных пород. В основе их классификации лежит содержание двуокиси кремния (кремнезема SiO_2). К ним относятся т.н. ультраосновные (менее 45%), основные (45 ÷ 55%), средние и кислые (больше 65%) породы. К основным относятся базальты, к кислым – граниты.

Осадочные породы делятся на 4 группы:

- 1) Обломочные, образованные из продуктов разрушения любых горных пород (галька, щебень и тому подобное);
- 2) Глинистые (морские, озерные, речные, ледниковые), составляющие до 70 % всех осадочных пород;
- 3) Химические осадки, выпадающие из растворов или образующиеся на суше при химическом выветривании;
- 4) Органогенные осадочные породы, обязанные происхождением жизнедеятельности организмов.

Породы двух последних групп практически неразличимы, т.к. их образование связано чаще всего с жизнедеятельностью живых организмов. К этим группам относятся такие породы, как известняки, бокситы и другие. Особо отметим группы органогенных минералов: торф, бурый и каменный уголь, нефть, асфальт и ряд других.

Метаморфические породы образуются в глубинных слоях литосферы при перекристаллизации, изменении первоначального состава магнитных и осадочных пород в условиях высоких температур и давлении с участием газов и растворов. К этим породам относятся кварциты, мрамор и другие. Горные породы содержат различное количество радиоактивных элементов и вносят вклад в тепловое поле Земли.

Из таблицы 3 видно, кроме того, что максимальное содержание радиоактивных изотопов оказывается в гранитах и базальтах. Поэтому минимальный радиационный фон будет наблюдаться в кирпичных и деревянных домах, а максимальный – в построенных из камня или железобетонных панелей (в них используется гранитный щебень).

Таблица 3

Радиоактивные изотопы в земной коре

Породы	Содержание в весовых процентах			Выделяемая энергия МкВт/м ³
	Уран	Торий	Калий	
Осадочные	0,00025	0,0001	2,0	1,3
Гранитные	0,00035	0,0014	2,8	2,1
Базальты	0,00009	0,0004	1,0	0,6

Земная кора находится в постоянном движении как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Оценки показывают, что средние скорости смещения в зонах повышенной сейсмической активности достигают 0,3 мм в год, в спокойных – 0,05 мм в год. Горизонтальное движение земной коры осуществляется крупными блоками.

В середине XIX века Снайдер выдвинул гипотезу *дрейфа континентов*, ее поддержали и развили Тейлор и Вегенер уже в наше время. Они считали, что в карбоне (палеозойская эра) единый материк *Пангея* “плавал” в более плотном расплавленном веществе внутренних частей планеты. Издавна сходство очертаний западного берега Африки и восточного берега Южной Америки считали свидетельством разделения единого материка *Гондваны*. Кроме того, сходство не только очертаний, но и ископаемых растений и местонахождении угля в Америке и Европе дало основание для гипотезы образования Атлантики вследствие раскола праматерика и раздвижения осколков.

Под влиянием новых данных об изменении направления магнитного поля Земли и сведений о строении океанического дна гипотеза дрейфа континентов получила новое развитие. Карта районов землетрясений показывает, что они образуют узкие длинные зоны, разделяющие сейсмографический активный слой Земли на стабильные участки – *литосферные плиты*. Внутри плит землетрясений не бывает. Зоны, ограничивающие плиты, образованы срединно-океаническими хребтами и глубокими океаническими желобами. По этим зонам расположено большинство действующих вулканов. Длина таких цепей вулканов составляет около 37 тысяч километров. На каждом километре за 1 млн. лет извергается до 40 км³ нового силикатного материала. Сегодня принято, что земная кора состоит примерно из 15 жестких плит. Из них 6 – 7 – крупные, сталкивающиеся, погружающиеся и направляющиеся одна на другую. Эти плиты, имеющие толщину 75 ÷ 150 км, “плавают” на мантии. Вместе с плитами перемещаются континенты.

Земная кора делится на океаническую-плотную и однородную, и континентальную, более легкую, имеющую неоднородный минеральный состав.

В последнее время появилась возможность измерить мельчайшие колебания поверхности Земли, изменение скорости ее обращения вокруг оси. Из двух удаленных друг от друга точек поверхности Земли наблюдают за одним и тем же источником во Вселенной. Этот источник должен быть неподвижен для наблюдателя. В качестве источника в последних исследованиях используют квазары (очень яркие электромагнитные излучения, находящиеся на самом краю видимой Вселенной). Наблюдения ведутся с двух радиотелескопов, расположенных в тысячу километров друг от друга.

По этим и другим данным установлено, что Красное море расширяется со скоростью 1 см в год, Хребет Петра Великого на Памире движется в сторону Гиссарского хребта со скоростью примерно 2 см/год. По

палеомагнитным данным Великобритании за последние 200 млн. лет развернулась по часовой стрелке примерно на 30° и сместилась к северу. Из-за движения земной коры древнеегипетские пирамиды переместились на 4 км к югу от того места, где они были построены около 5000 лет назад. Движение земной коры привели к тому, что побережье Европы отодвинулось от Америки на 1 м за последние 25 лет.

В современном строении земной коры запечатлены результаты сложной геологической истории, в течение которой происходили закономерные изменения внутреннего строения и состава земной коры, рельефа поверхности, органического мира и его влияния на кору. В соответствии с *геохронологической шкалой*, принятой в 1881 году, для определения относительного возраста пород введены термины: *эра* (чрезвычайно продолжительный промежуток времени, сотни млн. лет), *период*, *эпоха*, *век*, время (табл. 4), (рис. 5).

Геологические эры Земли:

Катархейская эра (катархей) (от образования Земли 4,6 млрд лет назад до зарождения жизни);

Архейская эра (архей), древнейшая эра (3,5 млрд – 2,6 млрд лет);

Протерозойская эра (протерозой) (2,6 млрд – 570 млн лет);

Палеозойская эра (палеозой) (570 млн – 230 млн лет) со следующими периодами:

кембрий (570 млн – 500 млн лет);

ордовик (500 млн – 440 млн лет);

силур (440 млн – 410 млн лет);

девон (410 млн – 350 млн лет);

карбон (350 млн – 285 млн лет);

пермь (285 млн – 230 млн лет);

Мезозойская эра (мезозой) (230 млн – 67 млн лет) со следующими периодами:

триас (230 млн – 195 млн лет);

юра (195 млн – 137 млн лет);

мел (137 млн – 67 млн лет);

Кайнозойская эра (кайнозой) (67 млн – до нашего времени) со следующими периодами и веками:

палеоген (67 млн – 27 млн лет):

палеоцен (67–54 млн лет)

эоцен (54–38 млн лет)

олигоцен (38–27 млн лет)

неоген (27 млн – 3 млн лет):

миоцен (27–8 млн лет)

плиоцен (8–3 млн лет)

четвертичный (антропоген) (3 млн – наше время):

плейстоцен (3 млн – 20 тыс. лет)

голоцен (20 тыс. лет – наше время)

Катархей (также азой, гадей, преархей, приской) – геологический эон, когда Земля была безжизненной, окутанной ядовитой для живых существ атмосферой, лишённой кислорода; гремели вулканические извержения, сверкали молнии, жёсткое ультрафиолетовое излучение пронизывало атмосферу и верхние слои воды. Под влиянием этих явлений из окутавшей Землю смеси паров сероводорода, аммиака, угарного газа начинают синтезироваться первые органические соединения, возникают свойства, характерные для жизни. (Период с 4,6 до 3,8 млрд. лет назад).

Древнейшие времена в истории Земли, начинающиеся образованием первых осадочных пород, называют **архейской эрой** (др.-греч. ἄρχαῖος — древний). В образованиях архейской эры присутствуют углерод в виде гранита и мощные слои известняка, скорее всего, образовавшиеся из органического известкового ила. Это дает основание считать, что в архее (нижнем из двух подразделений докембрийского периода) уже появилась жизнь. Начало архейской эры отстоит от нас не менее чем на 2 млрд. лет. Именно в это время началось формирование жизни на Земле. (3,8 до 2,5 млрд. лет, продолжительность около 700 млн. лет). Следующий отрезок времени, в течение которого образовались осадочные породы, не так сильно измененные, как архейские, и содержащие уже явные остатки растений и животных, называют **протерозойской (ранней) эрой** (греч. πρότερος – первый, старший, греч. ζωή – жизнь). Эта эра имела продолжительность не менее 600 млн. лет. Наиболее значимые события: образование кислородной атмосферы в мезопротерозое; несколько эпох оледенения в позднем неопротерозое; расцвет фауны, характеризующейся развитием уникальных мягкотелых организмов. (2,5 до 542 млрд. лет, продолжительность около 2 млрд. лет).

После протерозойской эры начинается **палеозойская эра** (греч. πάλαιός – древний, греч. ζωή — жизнь) – геологическая эра древней жизни, уже содержащая многочисленные остатки разнообразной и быстро развивающейся жизни. Они позволяют делить эту эру на периоды **кембрийский, силурский, девонский, каменноугольный и пермский. Именно в палеозой живые организмы вышли на сушу**

В кембрийском периоде жизнь сосредотачивалась в воде, суша представляла собой пустыни. Появились ракообразные, из растений господствовали водоросли. Силурский период заканчивает господство морской жизни. Появляются первые сухопутные животные (скорпионы) и растения. Девонский период отличается значительным распространением наземных растений. Во время каменноугольного периода возникло необычайное разнообразие наземных растений, образовались огромные леса, создавшие мощные и многочисленные пласты каменного угля. Пермский период характеризуется, в противоположность каменноугольному, сухим и холодным климатом, вызвавшим обширное оледенение в южном полушарии, развитие пустынь, сокращение морей, образование мощных отложений солей в северном полушарии. (Палеозой начался 542 миллионов лет назад и продолжался около 290 миллионов лет.)

Следующая эра, **мезозойская эра**, (от греч. μέσο- – “средний” и ζῷον – “животное”, “живое существо”) – участок времени в геологической истории Земли от 251 млн. до 65 млн. лет назад, продолжительность около 100 млн. лет.

Мезозой – эра тектонической, климатической и эволюционной активности. Происходит формирование основных контуров современных материков и горообразование на периферии Тихого, Атлантического и Индийского океанов; разделение суши способствовало видообразованию и другим важным эволюционным событиям. Климат был исключительно тёплым на протяжении всего временного периода, что также сыграло важную роль в эволюции и образовании новых видов животных. К концу эры основная часть видового разнообразия жизни приблизилась к современному её состоянию.

Мезозойская эра делится на **периоды триасовый, юрский и меловой**. Она отличается сильным развитием пресмыкающихся, моллюсков, хвойных растений.

Триасовый период был временем относительного спокойствия земной коры. В конце периода появились первые млекопитающие. Юрский период характеризуется развитием горообразовательных процессов, распространением земной флоры. По запасам угля он стоит на втором месте после каменноугольного. Пресмыкающиеся достигли господства на суше и в морях. Появились первые птицы. Появились первые лиственные деревья.

Таблица 4

Геохронологическая шкала

ЭРЫ	ПЕРИОДЫ		преобладающие формы жизни	возраст млн. лет
Кайнозойская	Четвертичный (антропоген)		Человек	1,8
	Неоген		МЛЕКОПИТАЮЩИЕ	
Мезозойская	Палеоген			65
	Мел		ПРЕСМЫКАЮЩИЕСЯ	250
Юра		И		
Триас		АММОНИТЫ		
Палеозойская	Пермь		“ВЕК” ЗЕМНОВОДНЫХ	354
	Карбон		“ВЕК” РЫБ	417
	Девон		БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ	540
	Силур		с жестким скелетом	
Ордовик			600	
Кембрий				
Протерозойская	Поздний	Венд	Бесклеточные беспозвоночные	2500
		Рифей	ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ	
	Ранний			
Архейская			Первые	4000
			ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ(?)	

За ней следует *кайнозойская эра* (καίνος = новый + ζωή = жизнь) или эра новой жизни, начавшаяся 65,6 млн. лет назад с великого вымирания видов в конце Мелового периода по настоящее время. Она делится на два периода – *третичный и четвертичный*. В течение этой эры земная поверхность, распределение материков и океанов, возвышенностей и низменностей дошли до современного состояния. Господство покрытосеменных растений, биологический прогресс насекомых. Место пресмыкающихся, господствовавших в мезозойской эре, заняли млекопитающие и птицы. Во время третичного периода рельеф Земли приблизился к современному виду. Первую эпоху оледенения относят к этому времени. Четвертичный период, продолжающийся и в настоящее время, характеризовался сменами похолодания и потепления (три ледниковых эпохи). ***В середине четвертичного периода появился человек!***

Эволюция земной коры и эволюция живого на ней взаимосвязаны и взаимозависимы. На весь ход миграции химических элементов, структуру коры все сильнее влияло живое вещество.