



Строение Земли

Курс «Геология»

Автор Пивоварова Е.Г.



План лекции (4 часа)

1. Строение Земли

2. Внутренние сферы Земли

- литосфера,
- мантия,
- ядро.

3. Теория тектоники плит

4. Внешние сферы Земли

- атмосфера,
- гидросфера,
- биосфера



Литература

- **(основная)**

- 1. Борголов И.Б. Курс геологии (с основами минералогии и петрографии). М.:ВО. Агропромиздат. 1989.
- 2. Кац Д.М. Основы геологии и гидрогеологии // Учебник. М.:Колос. 1981.

- **(дополнительная)**

- 3. Иванова М.Ф. общая геология с основами исторической геологии // М.:Высшая школа, 1980. 440 с.
- 4. Якушова А.Ф. Геология с элементами геоморфологии // М.:Изд-во МГУ. 1983. 374 с.
- 5. Чеботарев А.И. Общая гидрология // Ленинград, 1975.
- 6. Лабораторный практикум по почвоведению (часть 1 Геология) //Барнаул:изд-во АГАУ. 2001.
- 7. Удивительная планета Земля // иллюстрированный атлас эволюции. 2003



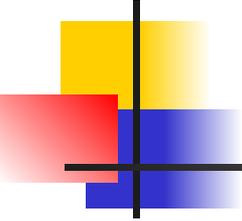
Строение Земли

- Понять недра планеты нам позволяют сейсмические волны. Они распространяются до центра земного шара и возвращаются на поверхность. Расшифровка этой информации дает сложную картину чередования жидких и твердых слоев, на которых «плавают» континенты.



Форма Земли

- Наиболее точные и многочисленные градусные измерения Земли были выполнены в нашей стране. По данным Ф. Н. Красовского, А. А. Изотова и других советских ученых, Земля имеет форму **трехосного эллипсоида вращения**, малая ось которого является осью вращения. Длина ее экваториального радиуса 6378,2 км, полярного — 6356,9 км. Таким образом, экваториальный радиус длиннее полярного на 21,3 км. Сжатие Земли равно 1/298,3. **Площадь** ее поверхности 510,1 млн. км². **Объем** Земли 1 083 204 млн. км³.
- Трехосный эллипсоид вращения довольно точно отражает фигуру Земли. Учитывая не только ее сплюснутость, но и все крупные неровности рельефа (глубочайшие океанические впадины, высокие горные хребты), истинную неправильную геометрическую фигуру Земли называют *геоидом*.



Масса и плотность Земли

Масса Земли равна $5,98 \cdot 10^{27}$ г, средняя плотность — 5,52 г/см³.

- **Другие космические тела имеют следующую плотность (г/см³):**
- - Солнце — 1,38... 1,4;
- - Меркурий — 6,5... 6,7;
- - Венера — 5 ... 5,9;
- - Марс — 5,9;
- - Юпитер — 1,25... 1,4;
- - Сатурн — 0,72 ... 0,8;
- - Уран — 0,92 ... 1,1;
- - Нептун — 1,3;
- - Луна — 3... 3,4;
- - метеориты — 3,5... 8.

Таким образом, плотность Земли близка к средней плотности Марса, Венеры и Меркурия.



Средняя плотность

- **Средняя плотность наиболее распространенных горных пород, встречающихся в земной коре, составляет (г/см³):**
 - - гранитов — 2,5 ... 3;
 - - гнейсов — около 2,4;
 - - базальтов — 2,7 ... 3,2;
 - - известняков — 2,4 ... 2,8;
 - - доломитов — около 2,9.

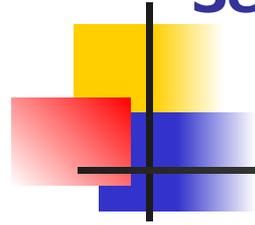
Таким образом, средняя плотность горных пород, слагающих земную кору, значительно меньше средней плотности Земли. Это значит, что недра Земли сложены веществами, плотность которых значительно выше 5,52 г/см³.

Основные сведения

- Тело Земли **неоднородно** имеет концентрически-зональное строение. В центре его расположено ядро. Вокруг ядра размещаются концентрические оболочки, или геосферы. Плотность геосфер скачкообразно увеличивается от поверхности Земли к ее центру. Геосферы Земли подразделяют на внутренние и внешние. К внутренним сферам относят — земную кору, мантию и ядро, к внешним атмосферу, гидросферу и биосферу.
- Концентрическое строение Земли объясняется процессами дифференциации вещества, которые происходят в ее недрах. Основная причина дифференциации вещества — вращение Земли вокруг своей оси.



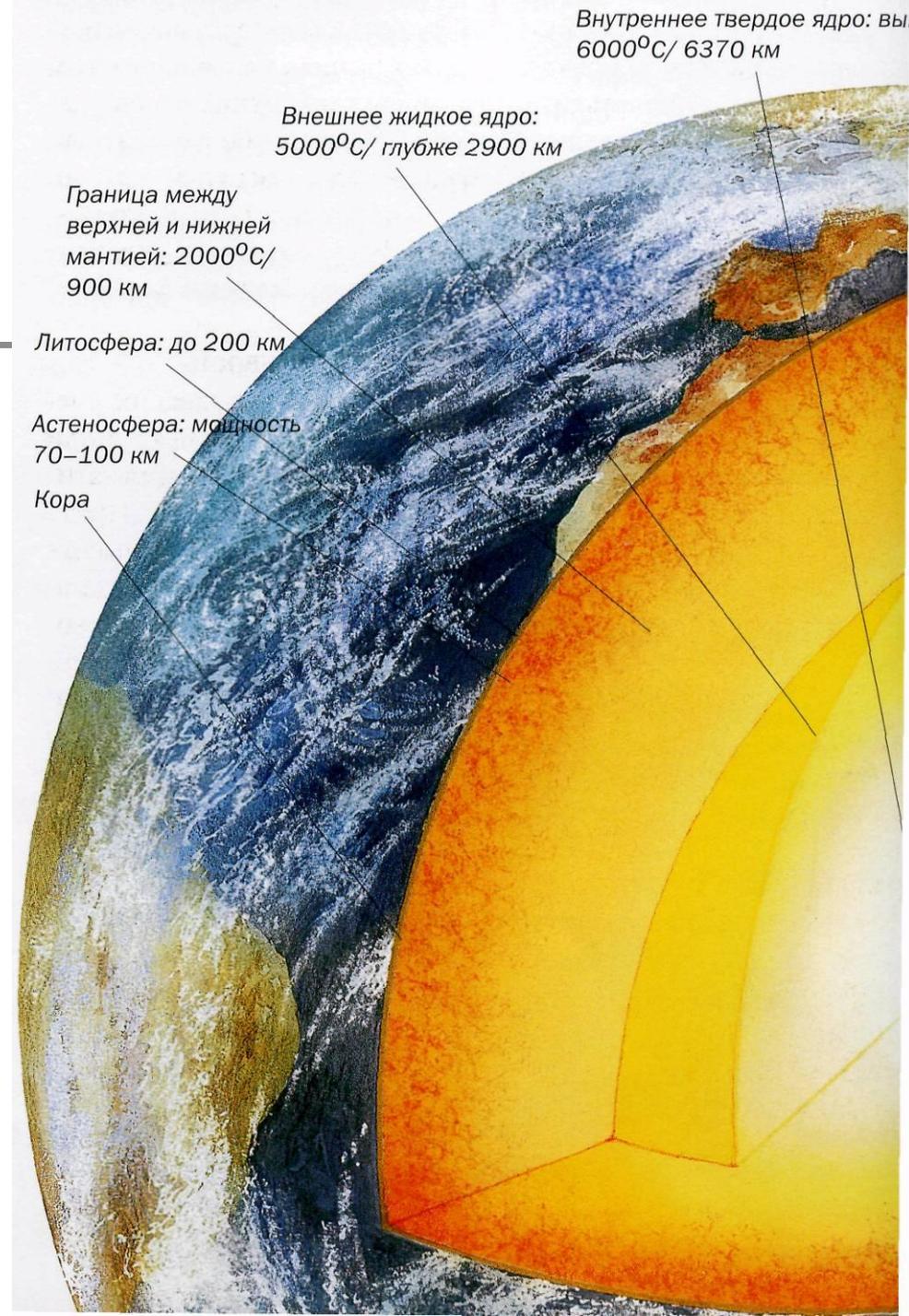
Внутренние сферы Земли



► Земля в разрезе

Наша планета покрыта твердой корой, толщина которой колеблется от 5 км под океаническим дном до 90 км под континентами. Под корой находится мантия мощностью до 2900 км. В ней выделяют четыре слоя. **Литосфера**, достигающая до глубины 200 км, включает земную кору и часть верхней мантии. Литосфера расколота на несколько подвижных плит.

Они плавают в частично расплавленной **астеносфере** толщиной 70-100 км. Под ней находится переходный слой, где плотность и твердость вещества возрастают в результате кристаллизации. Плотная **нижняя мантия** (между 900 и 2900 км) непосредственно прилегает к ядру. Жидкий внешний слой ядра (между 2900 и 5200 км) окружает твердое **внутреннее ядро**, занимающее центр Земли.



- ▶ **Химический состав различных оболочек Земли**
- Если допустить, что исходно наша планета аналогична по составу каменным метеоритам (хондритам), значит, ее ядро постепенно обогащалось железом и никелем, мантия - магнием, а кора - кремнеземом

% по массе	Хондриты	Ядро	Мантия	Океаническая кора	Континентальная кора
O (кислород)	34	?	43,8	45,8	45,8
Fe (железо)	25,2	6,2	7	5,8	-
Si (кремний)	14,4	?	21	22,3	27,1
Mg (магний)	12,5	-	22	10,7	2,1
S (сера)	8,3	5,1	0,16	0,5	следы
Ca (кальций)	1,4	-	2,2	8	5,4
Al (алюминий)	1,3	-	2,1	6,4	9,5
Ni (никель)	1,3	5,7	0,2	следы	следы
Na (натрий)	0,7	-	0,3	6,7	2,6
K (калий)	следы	-	0,1	следы	1,2

- Кора в целом отличается от мантии пониженным содержанием магния и повышенным - алюминия. В среднем в ней также больше кремнезема. На этом общем фоне заметна четкая разница между континентальной и океанической корой. Первая богата кислыми гранитами, содержащими много кремнезема (кварца), а вторая - щелочными базальтами.



Внутренние сферы Земли

Земной корой (рис.) называют наружную твердую оболочку Земли. Земная кора - наиболее изученная оболочка планеты.

По сравнению с другими оболочками Земли для земной коры характерно наиболее неоднородное строение. По глубине (сверху вниз) в земной коре выделяют три слоя: осадочный, гранитный и базальтовый.



Осадочный слой

- преимущественно сложен относительно мягкими, иногда и рыхлыми горными породами, которые образовались в результате осаждения вещества в водных или воздушных условиях на поверхности Земли. Большинство осадочных горных пород имеют слоистое строение, то есть залегают в виде сравнительно тонких слоев, ограниченных параллельными плоскостями. **Плотность** их колеблется от 1 до 2,65 г/см³. **Мощность** осадочного слоя непостоянна: изменяется от нескольких метров до 10 ... 15 км. На поверхности Земли есть участки, где осадочный слой полностью отсутствует.



Гранитный слой

- преимущественно сложен магматическими и метаморфическими породами, в составе которых **преобладают алюминий и кремний**.
- Среднее содержание кремнезема в этих породах превышает 60%, поэтому их называют кислыми.
- Плотность пород колеблется от 2,65 до 2,8 г/см³. Мощность гранитного слоя непостоянна. Наибольшей мощности (50...70 км) он достигает под современными горными хребтами (Памир, Альпы).
- Под океаническими впадинами, например на дне Атлантического и Индийского океанов, этот слой либо совершенно отсутствует, либо его мощность крайне незначительна.
- Сейсмические волны проходят гранитный слой со скоростью 6 км/с, скачкообразно возрастающей до 6,5 км/с у нижней его границы (граница Конрада).



Базальтовый слой

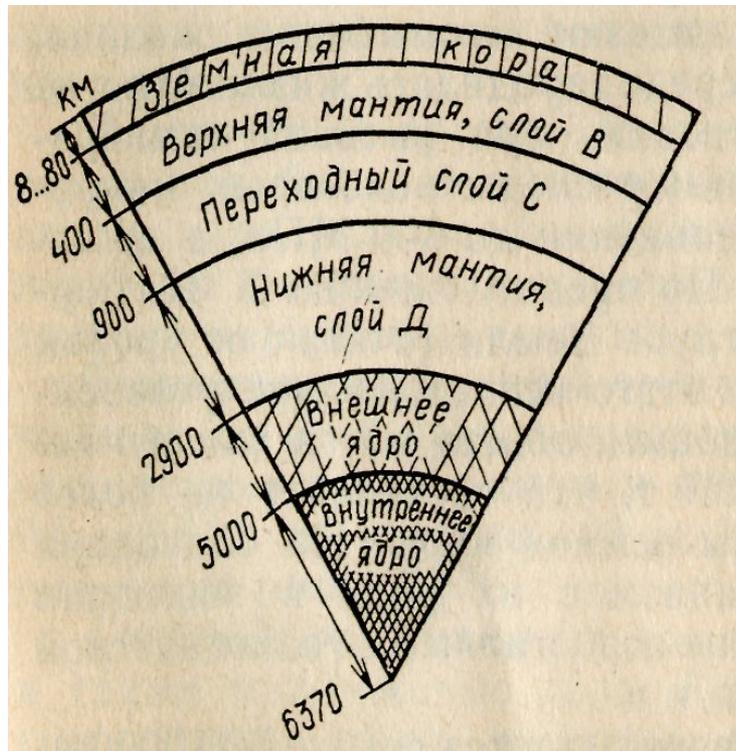
- залегает непосредственно под гранитным повсеместно. Мощность его колеблется от 5 до 30 км.
- По химическому составу и физическим свойствам вещество этого слоя приближается к базальтам, то есть к основным породам, в которых кремнезема содержится гораздо меньше, чем в гранитах. **Плотность** вещества в базальтовом слое возрастает до 3,32 г/см³.
- Земная кора **под некоторыми океанами** состоит из маломощного осадочного слоя, под которым залегает базальтовый слой мощностью 5 ... 15 км.
- **На континентах** обычно присутствуют все три ее слоя: осадочный, гранитный и базальтовый, и мощность земной коры составляет 40 км и более.



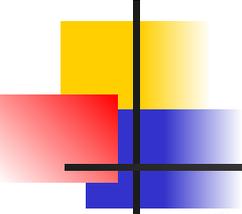
Между корой и мантией

- Сразу под земной корой резко возрастает скорость распространения S-волн до 8...8,2 км/с. Это граница раздела между корой и мантией нашей планеты, которая называется поверхностью Мохоровичича (по фамилии открывшего ее сейсмолога).

Мантия Земли



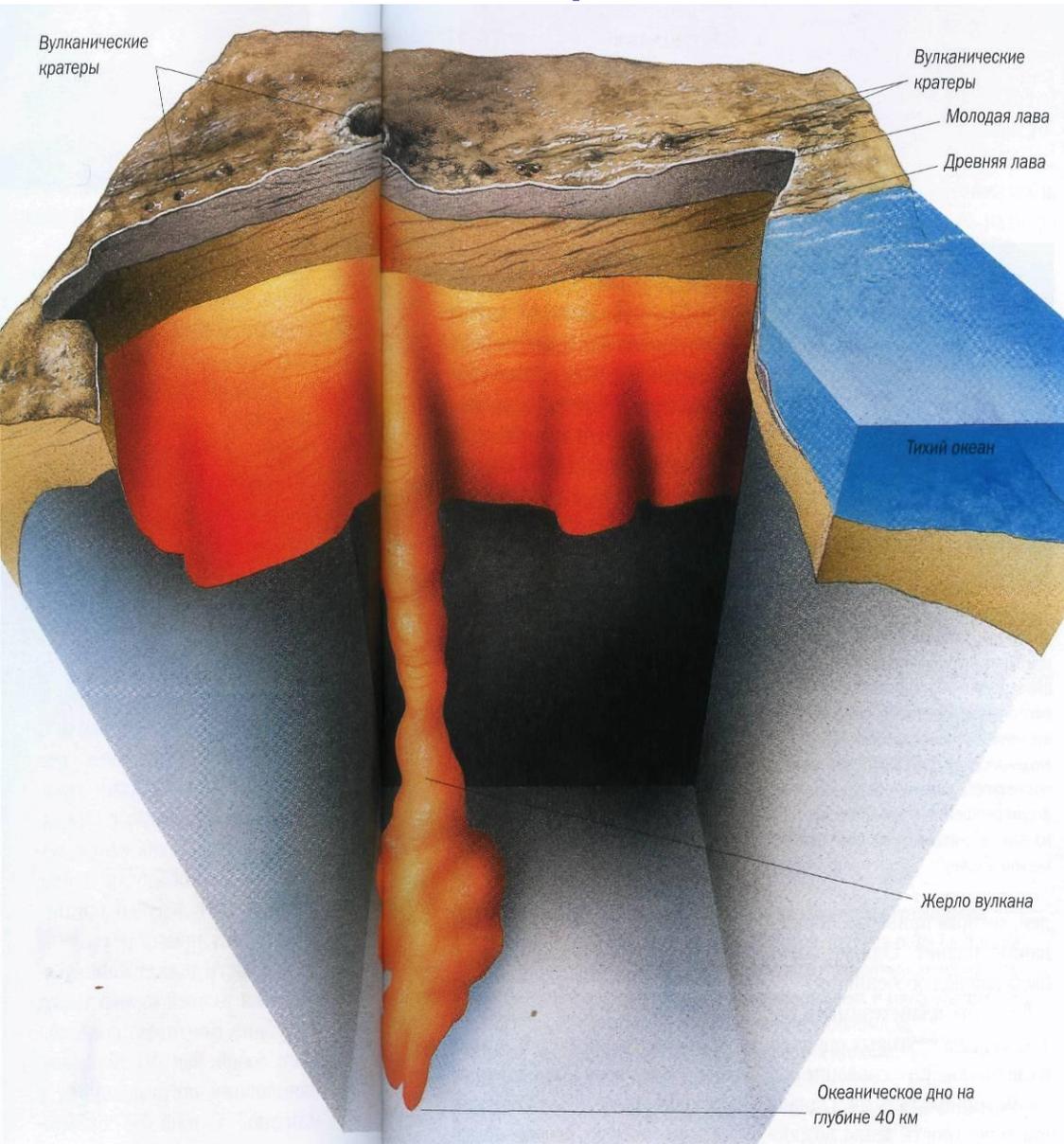
- Мантия Земли это следующая за земной корой геосфера Земли. Иногда ее называют подкорковым субстратом, или промежуточной геосферой. Мощность мантии велика — 8 ... 2900 км. На основе изменения скорости распространения продольных сейсмических волн в толще ее выделяют три слоя (см. рис.):
 - - **верхний В** (расположен на глубинах от 8 до 400 км).
 - - **переходный С** (лежит на глубинах от 400 до 900 км).
 - - **нижний Д** (расположен на глубинах от 900 до 2900 км).



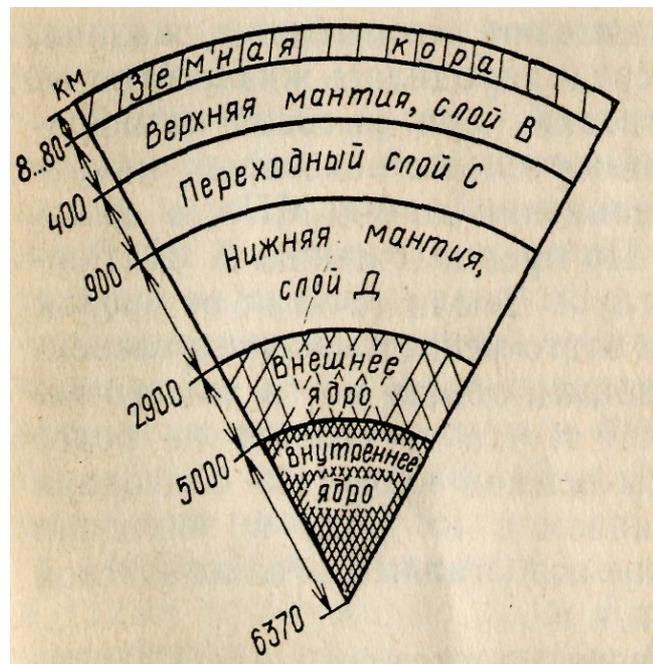
Строение мантии

- **Слой В**, или верхняя мантия, состоит в основном из **железисто-магнезиальных силикатов** типа минералов **оливина и пироксена**. Щелочная базальтовая лава, поднимающаяся с больших глубин, иногда захватывает и выносит на поверхность отдельные обломки вещества верхней мантии, соответствующие по составу ультраосновным породам. С верхней мантией связаны явления вулканизма, многие землетрясения и тектонические процессы.
- - **В переходном слое С** давление достигает 24,6 тыс. МПа. Поэтому вещество, входящее в его состав, находится в **твердом состоянии** и обладает плотностью 4,68 г/см³. Скорость прохождения продольных сейсмических волн в этом слое возрастает от 9 до 11,4 км/с.
- - **Нижний слой Д**, по предположению ученых, имеет однородный состав и состоит из вещества, **богатого окислами железа, магния** и в меньшей степени алюминия и титана. Плотность вещества в нем колеблется от 5,69 до 9,4 г/см³. Продольные сейсмические волны проходят его со скоростью 11,4 ... 13,6 км/с.
- Граница между мантией и ядром проходит на глубине 2900 км, на которой преломляются и частично отражаются продольные сейсмические волны. В различных странах разработаны проекты, а в некоторых местах уже бурят сверхглубокие скважины, которые должны дойти до верхней мантии. В нашей стране такие скважины заложены на Кольском полуострове, в Прикаспии, на Украине и Северном Кавказе.

Изменение состава минералов в различных оболочках земли



- Анализ пород, выносимых на поверхность мощными тектоническими подвижками и извержениями вулканов, позволяет судить о первых десятках километров мантии под земной корой.
- Верхний слой мантии В образован породой, называемой **перидотитом** и состоящей из трех минералов: **оливина (60%)**, **пироксена (30%)** и **полевого шпата (10%)**.
- С увеличением глубины (50-100 км) шпат исчезает, замещаясь более стабильными и компактными минералами типа **шпинели и граната**.



- На глубинах 400- 650 км (переходный слой С) рост давления приводит к изменению структуры оливина и пироксена - она становится компактнее, давая **шпинель или гранат**, а еще глубже (около 1050 км) они преобразуются в **перовскит**.
- Дальнейшее повышение плотности в нижней мантии уже нельзя объяснить чисто структурными преобразованиями. В нижней мантии (слой Д) Происходят химические изменения, скорее всего - **обогащение минералов железом**.
- Наконец, ядро является почти чисто металлическим - оно образовано смесью железа и никеля с небольшой долей более легких элементов типа углерода и серы.



Ядро Земли

- ?
- По расчетам ученых, плотность ядра Земли должна соответствовать плотности железа при соответствующем давлении. Поэтому широкое распространение получила **гипотеза о железо-никелевом составе** ядра, обладающего магнитными свойствами. Такой состав ядра объясняют первичной дифференциацией вещества по плотности. Наряду с этой гипотезой существует и **гипотеза об идентичности вещества** ядра, находящегося в особом, как бы «металлизированном» состоянии, и вещества мантии.
 - Сверхвысокое давление внутри ядра задерживает плавление его вещества, придавая ему свойства тяжелых металлов. Ядро Земли подразделяют на внешнюю и внутреннюю части (см. рис.). **Во внешнем ядре** давление составляет 0,15 млн. МПа, а плотность вещества—12 г/см³. Продольные сейсмические волны проходят это ядро со скоростью от 8,1 ... 10,4 км/с, уменьшающейся до 9,5 км/с внутри него.
 - **Во внутреннем ядре** давление достигает 0,35 млн. МПа, а плотность вещества—17,3 ... 17,9 г/см³. По-видимому, повышение плотности вещества в этом ядре связано с разрушением под влиянием больших давлений электронной оболочки у некоторой части атомов и их сближением.



Разделение на мантию и кору

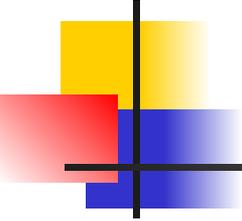
- Как образовалась тонкая кора, покрывающая нашу планету? Медленно, в ходе всей эволюции Земли, или в первые полмиллиарда-миллиард лет ее существования? Как исходные метеорологические условия сказывались на составе поверхностных горных пород?



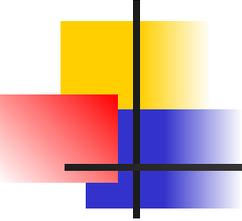
Образование земного ядра

- Железо присутствует во всех метеоритах в разнообразной форме. В результате сложных процессов, сконцентрировавшись в недрах Земли, оно образовало ее ядро - жидкое на глубинах 2900-5200 м и твердое в центре планеты. Как и когда это произошло, выясняется при изучении метеоритов и древнейших земных пород.

Черная металлургия

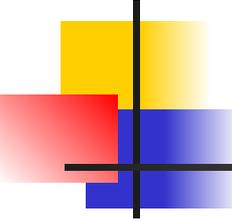
- 
- Речь идет о реакции, которая лежит в основе черной металлургии, т.е. выплавлении металлического железа из руд, содержащих его окисленные формы. Этот процесс позволяет объяснить, по крайней мере в принципе, формирование структуры Земли.
 - Наша планета сначала соответствовала по составу примитивным метеоритам. Потом ее силикатный материал стал терять железо - оно выплавлялось и уходило вглубь. Получилась мантия (две трети оливина и треть пироксена) и металлическое железное ядро со следами более легких элементов типа кремния. В процессе восстановления металла выделились газы, в частности кислород и водяной пар, которые дали атмосферу и гидросферу на поверхности планеты.

Космическая домна

- 
- Миллиарды лет назад исходный материал Земли примерно на 32% состоял из железа. Сейчас его среднее содержание в земной коре 7,5%, а основная часть элемента сосредоточилась в ядре планеты. Для этого, очевидно, потребовалось расплавить металлическое железо, присутствовавшее в планетезималях, и восстановить значительную часть его окисленных соединений, а потом переправить получившийся металл в центр Земли.

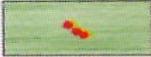
Дрейф континентов (тектоника плит)

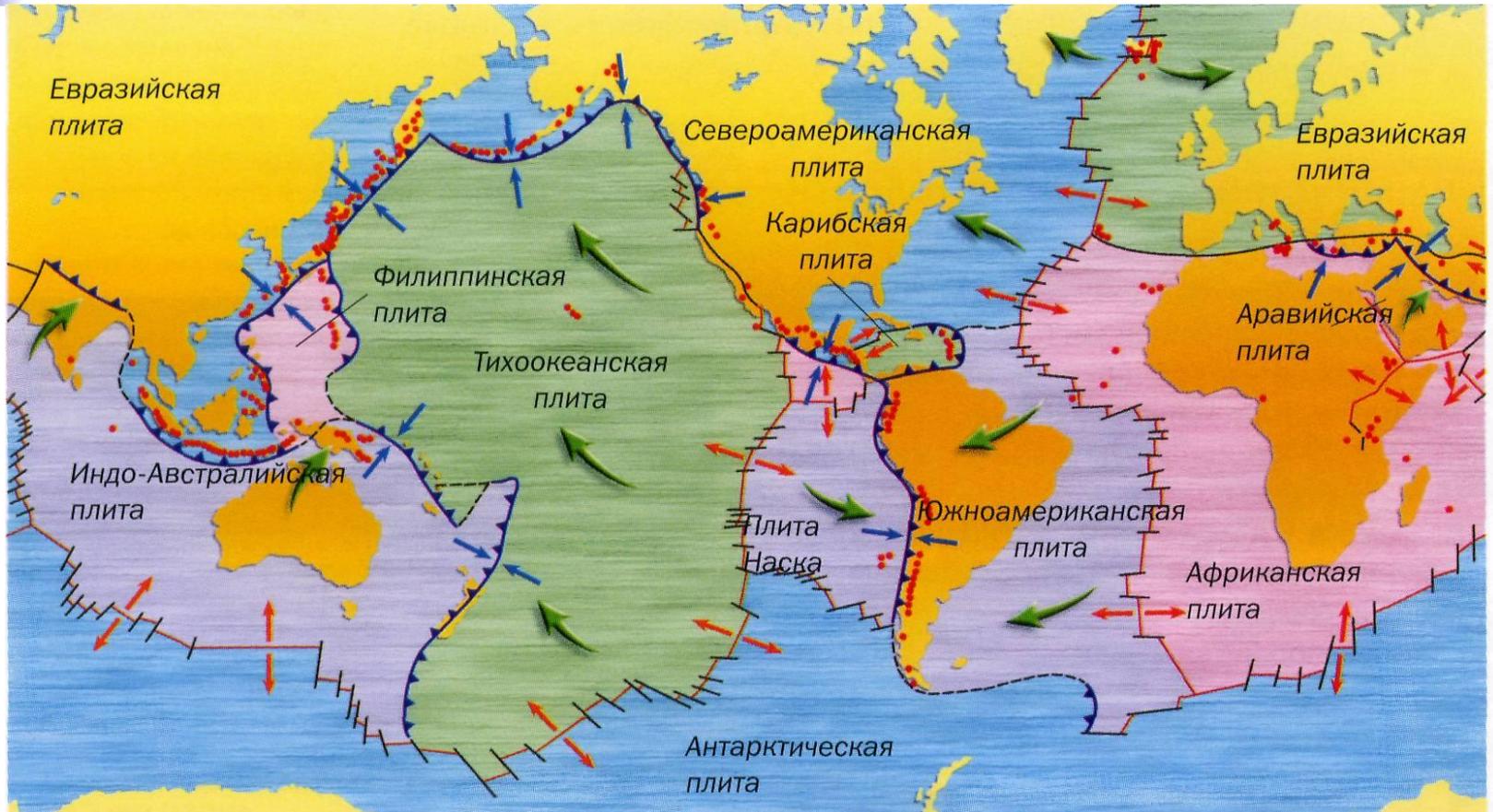
- Земная кора очень медленно, но постоянно движется. Эти изменения, называемые тектоническими, - отражение глубинных процессов, которые определяют всю эволюцию нашей планеты. Они разламывают океаническое дно, толкают континенты, поднимают горные цепи и заставляют землю трястись под нашими ногами.



Дюжина плит

- Предложенная в 1915 г. Альфредом Вегенером теория тектоники плит позволяет объяснить изменения земной коры в геологических масштабах времени. По современным представлениям, континенты и океаническое дно разделены на 12 литосферных плит, которые, словно льдины, плавают поверх астеносферы. Сталкиваясь краями, они деформируются, что ведет к образованию подводных желобов глубиной до 11 км и поднятию горных хребтов типа Анд и Гималаев.
- **Доказательства дрейфа континентов**
- Если вырезать из карты континенты, то нетрудно сложить их вместе, как кусочки мозаики: Африка, например, почти вплотную прижмется к Южной Америке. Полагают, что 200 млн. лет назад действительно существовал единый сверхконтинент, который назвали **Пангеей**.
- Сравнение пород Западной Африки и Бразилии демонстрирует их удивительное сходство - совпадают даже ископаемые остатки возрастом сотни миллионов лет, отсутствующие в других частях света. Однако окончательное доказательство движения литосферных плит, ведущего к дрейфу континентов, дало открытие в 1960-е годы рифтовых разломов океанического дна.

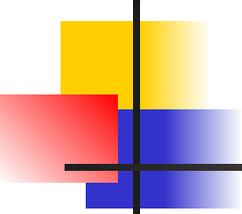
-  Зона дивергенции (расхождения плит)
-  Зона конвергенции (схождения плит)
-  Вулканы
-  Направление движения плит





Границы литосферных плит

- образующих континенты и океаническое дно, - представляют собой места максимальной сейсмической и вулканической активности.
- например в зонах субдукции под Японской островной дугой или под Андами вдоль западного побережья Южной Америки, Срединно-океанические хребты, где растекается и застывает новая кора, -это зоны подводных землетрясений и вулканических извержений.



Ядерное горючее

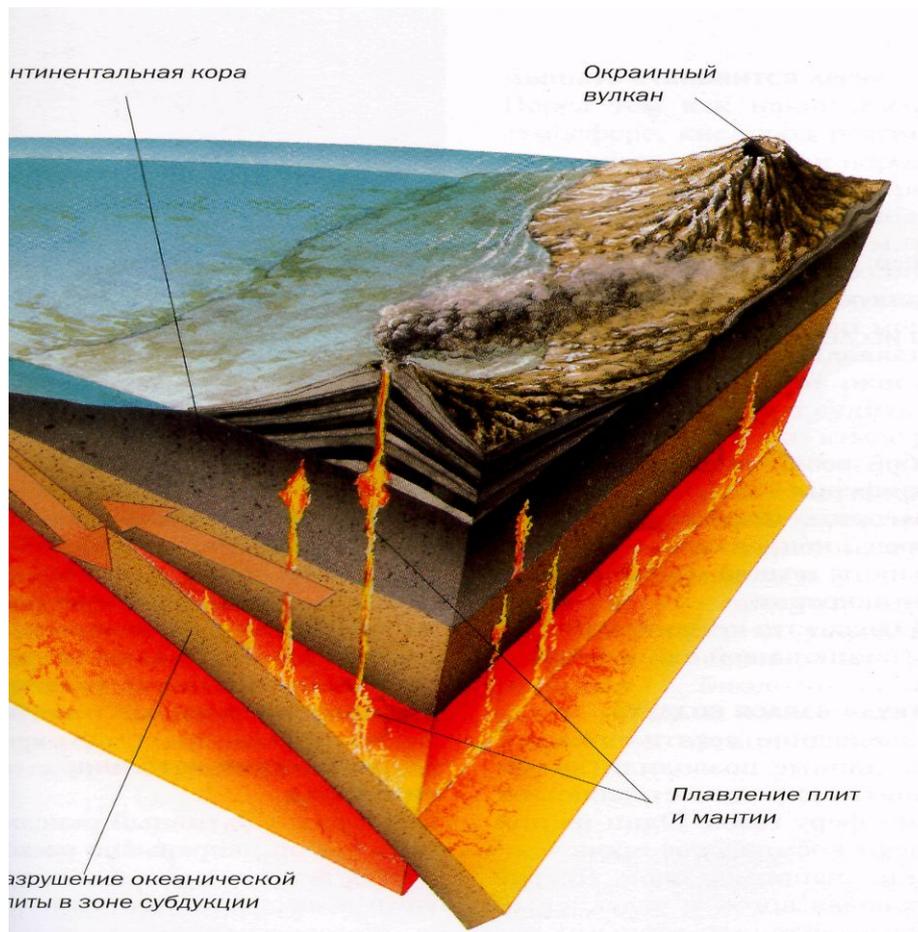
- Постоянно двигать литосферные плиты может лишь одна энергия - внутреннее тепло земли. Мантия содержит много радиоизотопов, в частности калия и урана, имеющих длительный период распада. Их распад уже 4,5 млрд. лет выделяет достаточно тепла, которое, распространяясь к поверхности, раскаляет мантию.



Разрушение океанических плит

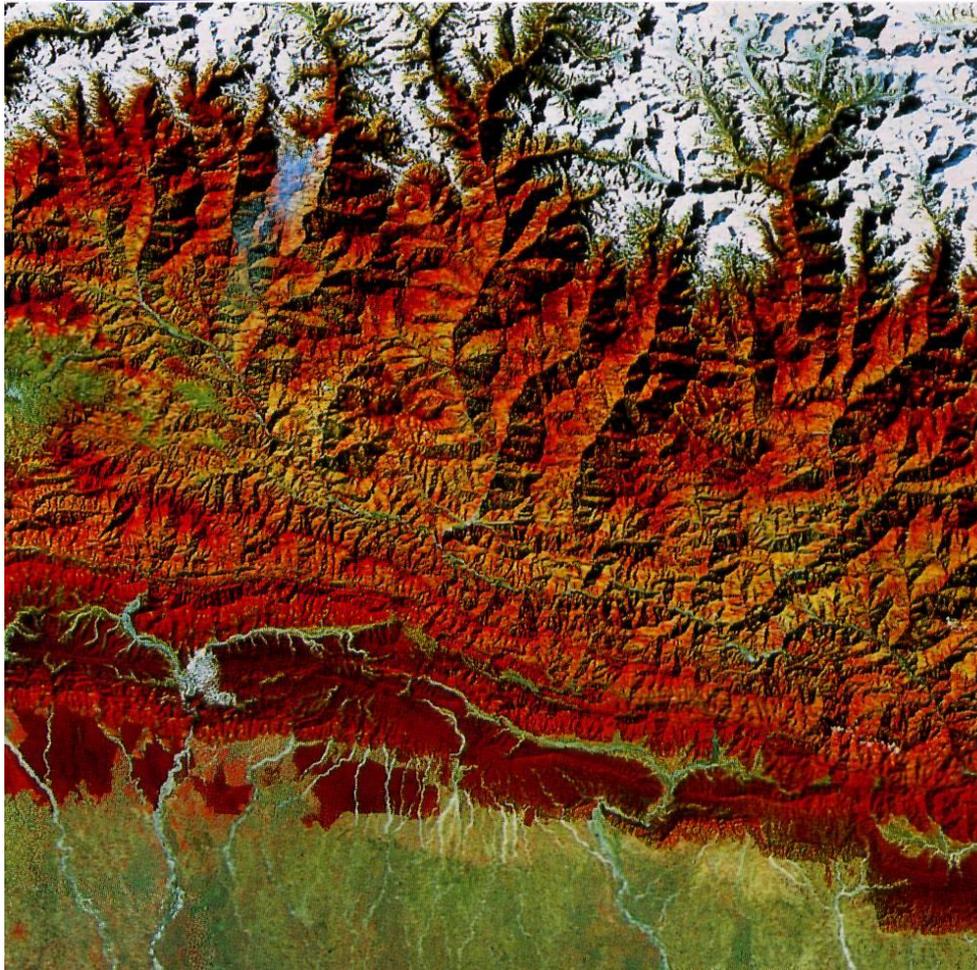
- Поскольку площадь Земли не меняется, непрерывному росту плит в рифтовых зонах должно соответствовать их разрушение.
- Оно происходит при столкновении плит, когда одна плита уходит под другую. Это называется субдукцией. Уходя в глубину, плита разогревается мантией, плавится, и избыток магмы прорывается на поверхность вулканическими извержениями.
- Одновременно края плит деформируются, что приводит к образованию хребтов желобов, а глубинное растрескивание проявляется на поверхности землетрясениями. Все это хорошо заметно, например, в зоне Анд.

Горообразование



- Наиболее впечатляющий результат тектоники плит - горные цепи. Обычно они тянутся вдоль зоны столкновения плит. Наглядный пример - Кордильеры и Анды, окаймляющие западное побережье, соответственно, Северной и Южной Америки. Такое столкновение всегда ведет к поднятию хребтов, но часто не на самой границе плит, а в сотнях километров от нее. Этот зазор нужен для накопления напряжений, которые в конце концов сомнут кору в крупные складки и поднимут их над местностью.

Гималайская модель



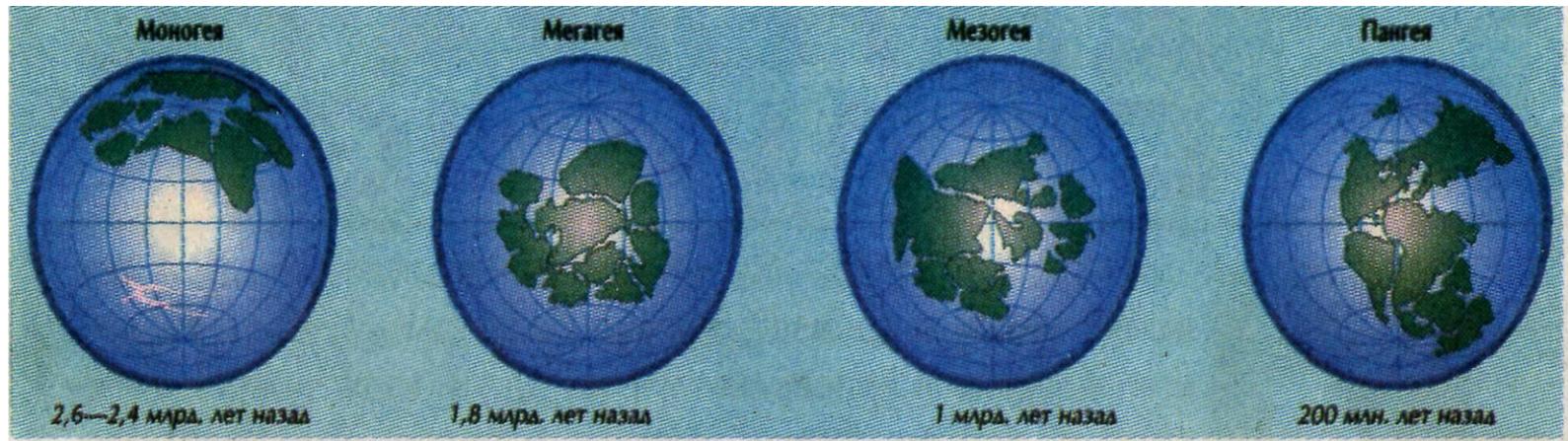
- Тектоническую складчатость отлично демонстрирует самая высокая горная система Земли. Это результат столкновения 50 млн. лет назад Индо-Австралийской и Евразийской плит. С тех пор первая продолжает двигаться со скоростью 5 см/год, запуская различные механизмы деформации. Ее северный край рассыпается на чешуи, которые укладываются неровными стопками, дающими Гималаи, а южный край Евразийской плиты выгибается, образуя высокое Тибетское нагорье. Наконец, развивающиеся напряжения смещают к востоку Монголию с Китаем, как бы раздвигая Азию, освобождая место Индостану.

▼ Гималайские цепи

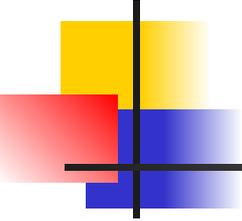
Индо-Австралийская плита подпирает с юга Евразийскую, продвигаясь на 5 см в год и опускаясь под нее. В результате кора сминается в складчатые цепи Гималаев. Таяние высокогорных ледников и муссонные дожди дают воду, которая протачивает в хребтах глубокие долины.

Материки плавают и каждые семьсот – восемьсот миллионов лет сливаются в единый континент

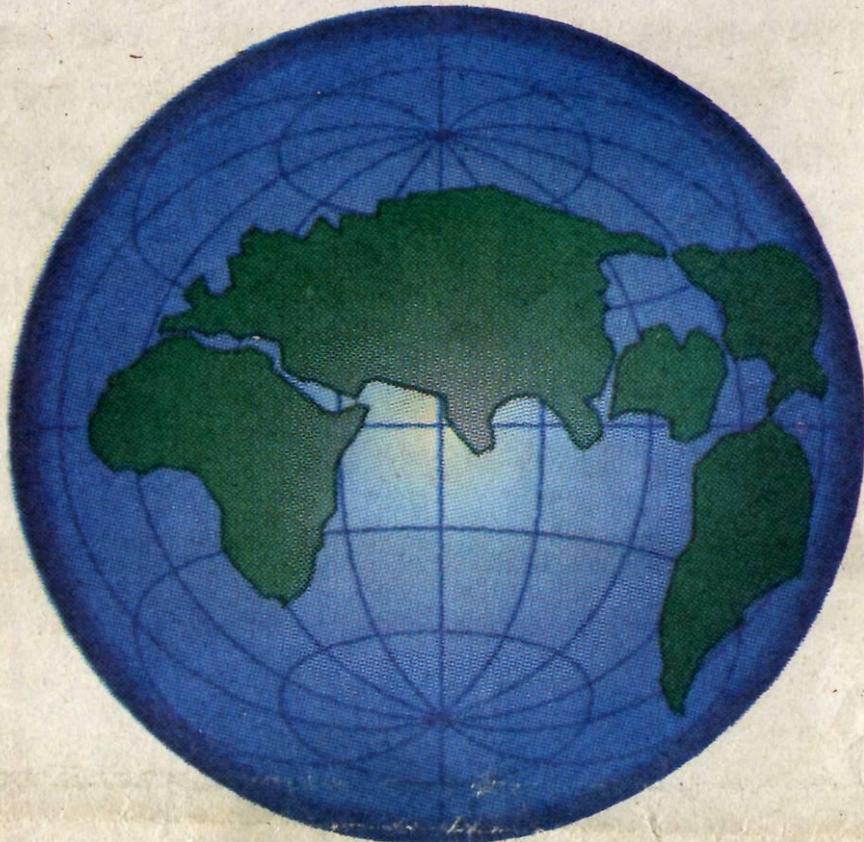
дополнение



- Единые континенты возникали каждые семьсот-восемьсот миллионов лет. Первый по времени - Моногея - образовался 2,6 -2,4 миллиарда лет тому назад, Мегагея -11,8 миллиарда, Мезогея - 1 миллиард, а до Пангеи - подать рукой - всего 200 миллионов лет. Очертания суперконтинентов не были повторением, копией друг друга.

- 
-
- Разбираться с причинами этого обстоятельства еще предстоит, но ясно, что и оно имело большое значение для эволюции жизни на нашей планете.
 - Ведь всякий раз, когда материки сходились, они обменивались флорой и фауной, десятками и сотнями тысяч гибли старые виды и появлялись новые.
 - Сейчас мы прошли период распада Пангеи и не замечаем, что вовсю идет строительство нового Суперконтинента, можно назвать его Кибергеей.

Так будет выглядеть Земля через 250 млн. лет



- Атлантический поток потихоньку отпихивает Африканский и Евразийский континенты на восток, Американские - на запад. Уже через 250 миллионов лет вся северная половина Тихого океана будет закрыта слипшимися материками: нашим, Североамериканским и затесавшимся между ними Австралийским.

- А пока что в Тихом океане часть его застывшего потока с шумом и треском задвигается под Азию (вот откуда наклон, землетрясения и извержения вулканов), другая широкой полосой, словно край ковра, подворачивается и тонет в мантии, образуя глубокую впадину и не препятствуя плывущей навстречу Америке.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!