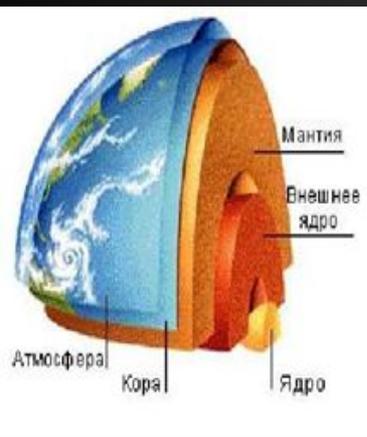


Тема **2.** Строение и состав литосферы

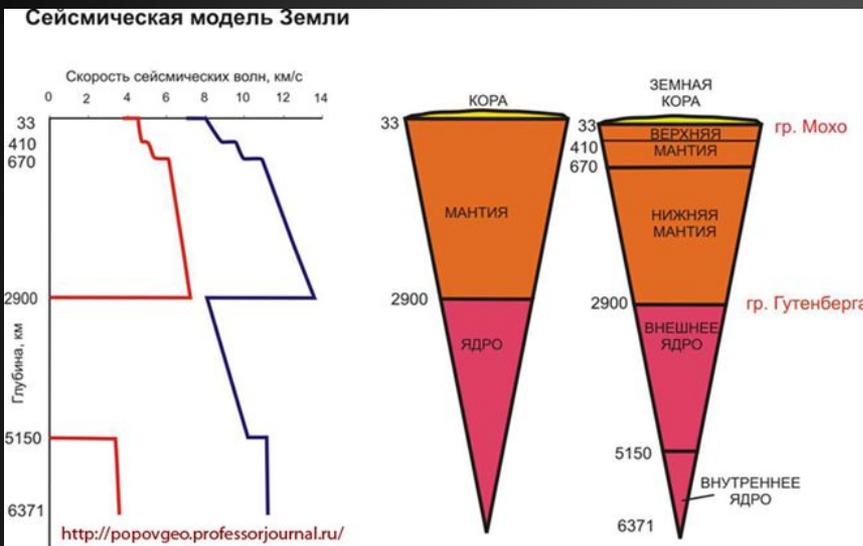


ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ



- Мантия** представляет собой наибольшую по объёму и массе сплюснутую сферическую оболочку, выделяется верхняя мантия и нижняя мантия, расположенные в границах 0-70 км. Верхняя мантия по своему составу и температуре разделяется на два слоя: до глубины 100 км находится астеносфера, состоящая из горячих расплавленных пород, а ниже 100 км находится литосфера, состоящая из твёрдых пород. Астеносфера, расположенная между литосферой и ядром, является вязкой и пластичной. Мантия обладает высокой температурой и давлением, что приводит к конвективным течениям. Вязкость мантии зависит от температуры, состава и скорости деформации. Мантия обладает высокой вязкостью, что приводит к образованию конвективных течений. Вязкость мантии зависит от температуры, состава и скорости деформации.
- Литосфера.** Наличие пластичного астеносферного слоя, отличающегося по механическим свойствам от твёрдых вышележащих слоёв, даёт основание для выделения **литосферы** - твердой оболочки Земли, включающей земную кору и подкоровую мантию, расположенную выше астеносферы. **Мощность литосферы составляет от 50 до 300 км.** Литосфера не является монолитной каменной оболочкой планеты, а **разделена на отдельные плиты**, постоянно движущиеся по пластичной астеносфере. К границам литосферных плит приурочены очаги землетрясений и современного **вулканизма**. В отличие от земной коры подстилающая её пластичная астеносфера не обладает пределом прочности и её вещество может деформироваться (течь) под действием даже очень малых избыточных давлений, увлекая за собой жёсткие литосферные плиты. Перемещения литосферных плит по поверхности астеносферы происходят под влиянием конвективных течений в мантии.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ



- Сейсмические волны испытывают наибольшие скачкообразные изменения скорости, преломляются и отражаются на глубинах **33 км** и **2900 км** от поверхности (см. рис.). Эти резкие сейсмические границы позволяют разделить недра планеты на 3 главные внутренние геосферы – земную кору, мантию и ядро.
- Земная кора от мантии отделяется резкой сейсмической границей, на которой скачкообразно возрастает скорость и продольных, и поперечных волн с 6,7-7,6 км/с в нижней части коры до 7,9-8,2 км/с в мантии. Эта граница была открыта в 1909 г. югославским сейсмологом Мохоровичичем и впоследствии была названа **границей Мохоровичича** (часто кратко называемой границей Мохо, или границей М).
- Средняя глубина границы составляет **33 км**; при этом под континентами глубина раздела Мохоровичича может достигать 60-75 км (что фиксируется под молодыми горными сооружениями – Андами, Памиром), под океанами – лишь 10-12 км, включая мощность толщи воды.

Сейсмические исследования

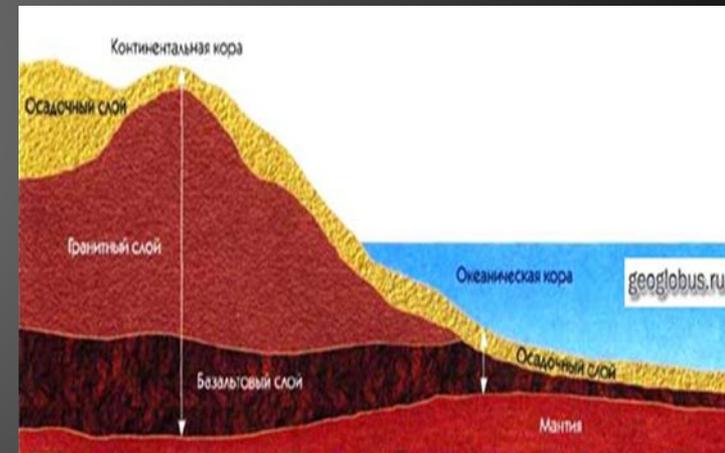
- На глубине **2900 км** скорость Р-волн скачкообразно падает с 13,6 км/с в основании мантии до 8,1 км/с в ядре; S-волны – с 7,3 км/с до 0. Исчезновение поперечных волн указывает, что внешняя часть ядра обладает свойствами жидкости. Сейсмическая граница, разделяющая ядро и мантию, была открыта в 1914 г. немецким сейсмологом Гутенбергом, и её часто называют **границей Гутенберга**.
- Резкие изменения скорости и характера прохождения волн фиксируются на глубинах 670 км и 5150 км. **Граница 670 км** разделяет мантию на верхнюю мантию (33-670 км) и нижнюю мантию (670-2900 км). **Граница 5150 км** разделяет ядро на внешнее жидкое (2900-5150 км) и внутреннее твёрдое (5150-6371 км). Существенные изменения отмечаются и на сейсмическом разделе **410 км**, делящим верхнюю мантию на два слоя. Полученные данные о глобальных сейсмических границах дают основание для рассмотрения современной сейсмической модели глубинного строения Земли.
- Основная часть массы Земли (около 68%) приходится на ее относительно лёгкую, но большую по объёму, при этом примерно 50% приходится на нижнюю мантию и около 18% – на верхнюю. Оставшиеся 32% общей массы Земли приходятся в основном на ядро, причем его жидкая внешняя часть (29% общей массы Земли) гораздо тяжелее, чем внутренняя твердая (около 2%). На кору остается лишь менее 1% общей массы планеты.

Океаническая кора

Имеет относительно небольшую мощность, в среднем 6-7 км. В её разрезе в самом общем виде можно выделить 2 слоя. Верхний слой – осадочный, характеризующийся малой мощностью (в среднем около 0,4 км) и низкой скоростью Р-волн (1,6-2,5 км/с). Нижний слой – «базальтовый» - сложенный основными магматическими породами (вверху – базальтами, ниже – основными и ультраосновными интрузивными породами). Скорость продольных волн в «базальтовом» слое нарастает от 3,4-6,2 км/с в базальтах до 7-7,7 км/с в наиболее низких горизонтах коры. Возраст древнейших пород современной океанской коры около 160 млн. лет.

Строение континентальной и океанической литосферных плит

СУБКОНТИНЕНТАЛЬНАЯ (СУБОКЕАНИЧЕСКАЯ) КОРА - земная кора переходного вида, расположенная между двумя крайними типами земной коры океанической и континентальной. В настоящее время строение такой коры менее всего изучено. Субокеаническая кора развивается вдоль континентальных склонов и подножий, возможно, подстилает дно котловин некоторых не очень глубоких и широких окраинных и внутренних морей. Это утоненная до 15—20 км кора, пронизанная дайками и силлами основных магматических пород. Она вскрыта скважиной глубоководного бурения у входа в Мексиканский залив и обнажена на побережье Красного моря. Другой тип — субконтинентальная кора — образуется в энсиматических вулканических дугах, превращаясь в континентальную, но не достигая полной «зрелости». Эта кора обладает пониженной, менее 25 км, мощностью и более низкой степенью консолидированности, что отражается в пониженных скоростях сейсмических волн — не более 5,0—5,5 км/с в низах коры.



Глобальная неотектоника

- **Тектоника плит (plate tectonics)** - современная геологическая теория о движении литосферы и взаимодействии литосферных плит. В основе глобальных тектонических процессов лежит горизонтальное перемещение относительно целостных блоков литосферы – литосферных плит.
- До начала XX века среди геологов преобладали концепции «фиксизма», т. е. неподвижного расположения блоков земной коры друг относительно друга. Впервые предположение о «мобилизме» - горизонтальном движении блоков коры было высказано Альфредом Вегенером в 1920-х годах в рамках гипотезы «дрейфа континентов», но поддержки эта гипотеза в то время не получила. Лишь исследования 1960-х годов и глубинное бурение дна океанов судном «Челленджер» в конце 80-х гг. дали неоспоримые доказательства горизонтальных движения плит и процессов расширения океанов за счёт раздвижения (спрединга) океанической коры.
- Так направление «мобилизм» легло в основу разработку глобальной неотектоники плит. Основные положения тектоники плит сформулированы в 1967-1968 гг. группой американских геофизиков - У. Дж. Морганом, К. Ле Пишоном, Дж. Оливером, Дж. Айзексом, Л. Сайксом в развитие более ранних (1961-62 гг.) идей американских учёных Г. Хесса и Р. Дигца о расширении (спрединге) ложа океанов.

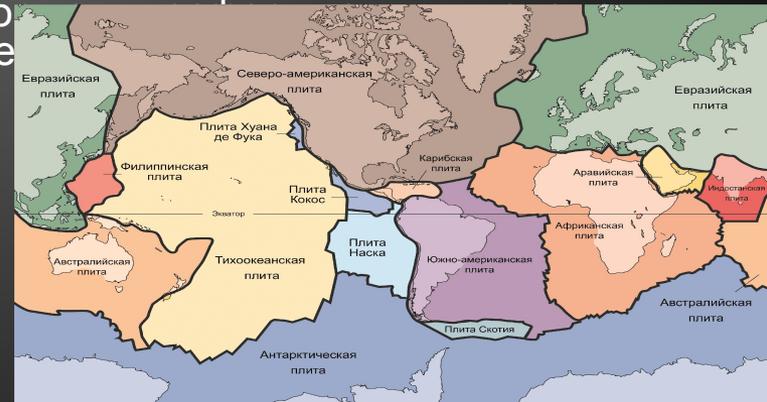
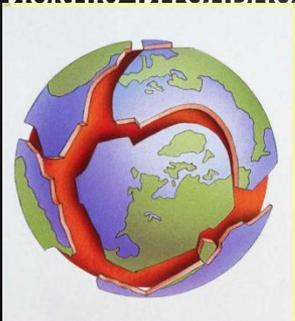
Основные положения тектоники плит

1. Верхняя каменная часть планеты разделена на две оболочки, существенно различающиеся по физическим свойствам: жесткую и хрупкую литосферу и подстилающую её пластичную и подвижную астеносферу.

Подшо́ва литосферы является изотермой приблизительно равной 1300°C, что соответствует температуре плавления (солидуса) мантийного материала при литостатическом давлении, существующем на глубинах первые сотни километров. Породы, лежащие в Земле над этой изотермой, достаточно холодны и ведут себя как жесткий материал, в то время как нижележащие породы того же состава достаточно нагреты и относительно легко деформируются.

2. Литосфера разделена на плиты, постоянно движущиеся по поверхности пластичной астеносферы.

Литосфера делится на 8 крупных плит, десятки средних плит и множество мелких. Между крупными и средними плитами располагаются пояса, сложенные мозаикой мелких **коровых** плит. Границы плит являются областями сейсмической, тектонической и магматической активности; внутренние области плит слабо сейсмичны. Более 90 % поверхности Земли приходится на **8 крупных литосферных плит**: Австралийская, Антарктическая, Африканская, Евразийская, Индостанская, Тихоокеанская, Северо-Американская, Южно-Американская плита. **Средние плиты**: Аравийская (субконтинент), Карибская, Филиппинская, Наска и Кокос и Хуан де Фука и др. Некоторые плиты состоят исключительно из океанической коры (например, Тихоокеанская), другие — из океанической и континентальной коры.



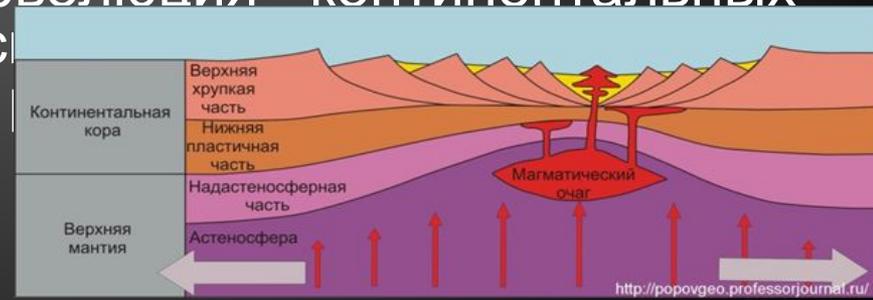
Основные положения тектоники плит

3. Различают три типа относительных перемещений плит: расхождение (спрединг или дивергенция), схождение (субдукция или конвергенция) и сдвиговые перемещения. Соответственно, выделяются и три типа основных границ плит.

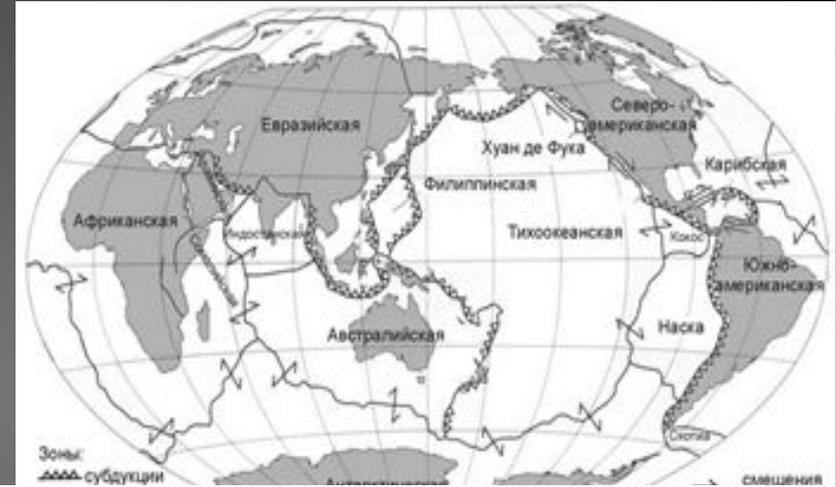
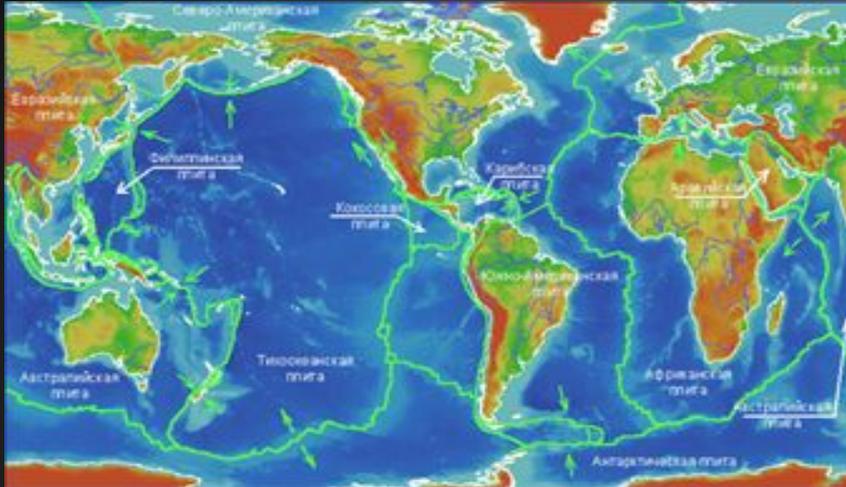
Дивергентные границы – границы, вдоль которых происходит раздвижение плит. В результате возникают протяженные линейно вытянутые сооружения, вдоль них образуются трещины, процесс называют **рифтогенезом**. Эти границы приурочены к континентальным рифтам и срединно-океаническим хребтам в океанических бассейнах. Термин **«рифт»** (от англ. *rift* – разрыв, трещина, щель) применяется к крупным линейным структурам глубинного происхождения, образованным в ходе растяжения земной коры.

Рифты могут формироваться и на континентальной, и на океанической коре. При этом эволюция континентальных рифтов может привести к разрыву с

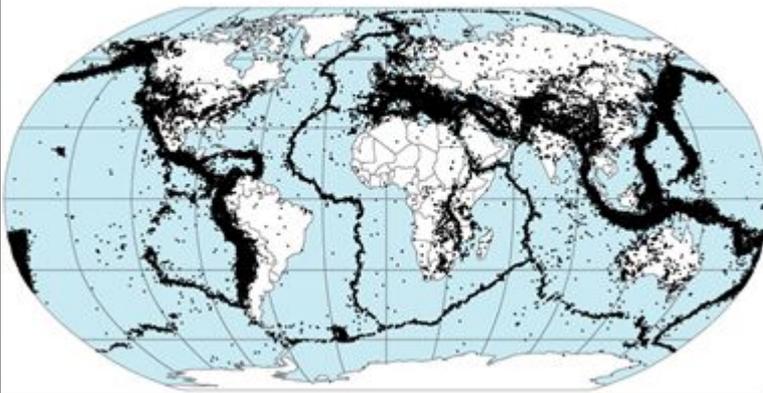
**Формирование зоны спрединга.
Строение континентального рифта**



Направления движения литосферных плит

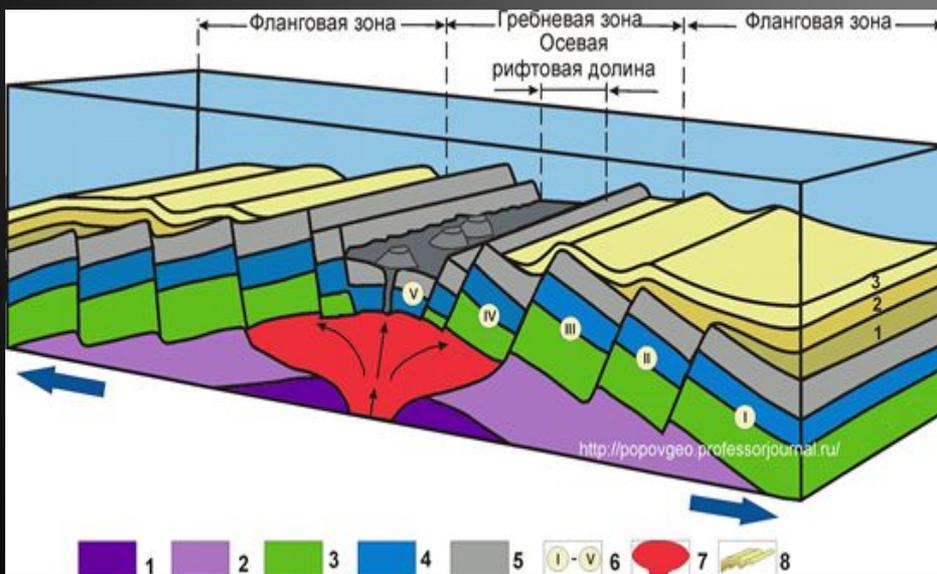
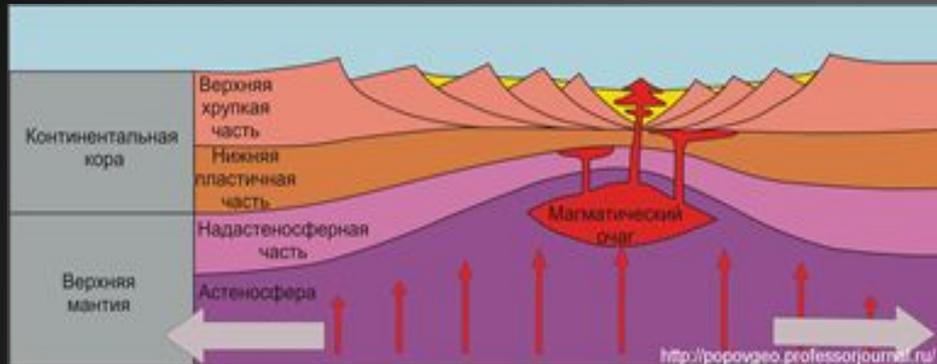


Preliminary Determination of Epicenters
358,214 Events, 1963 - 1998

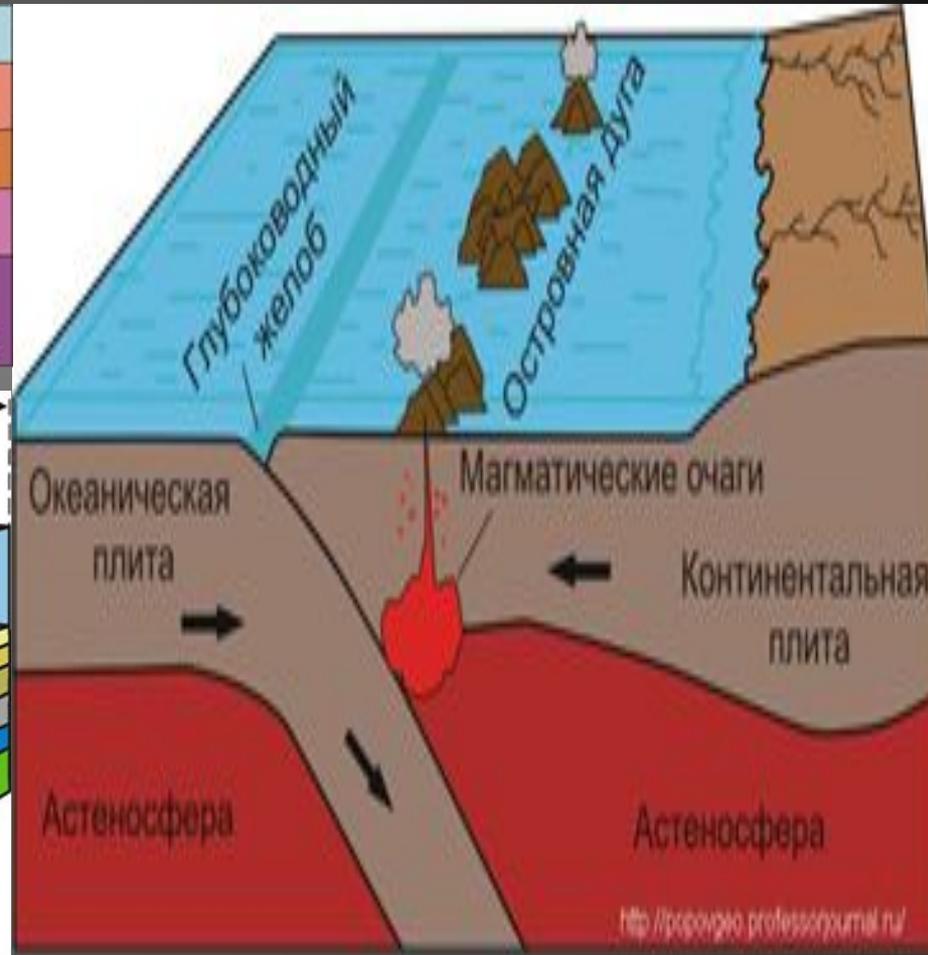


ГЛОБАЛЬНАЯ НЕОТЕКТОНИКА

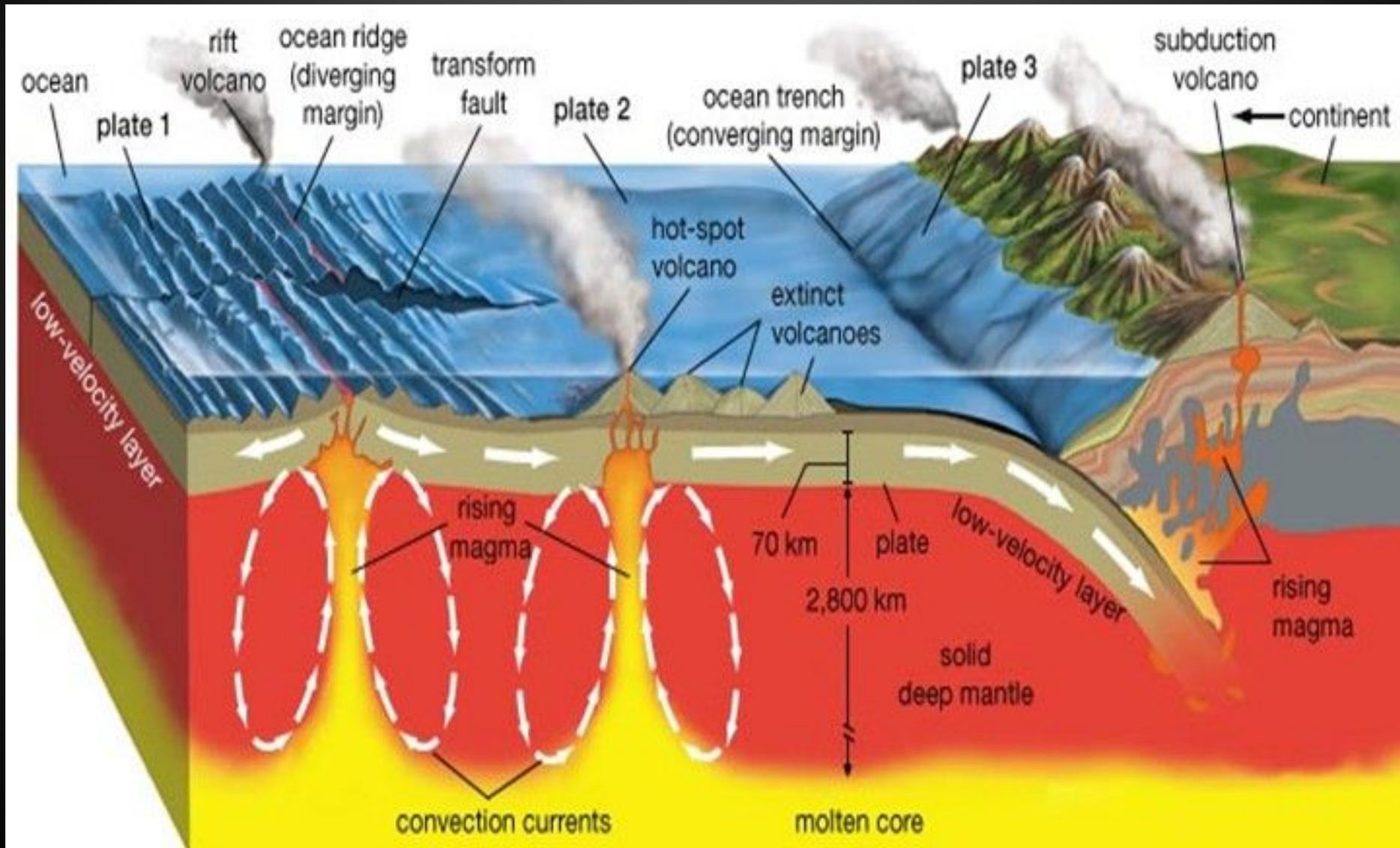
Зона спрединга



Зона субдукции



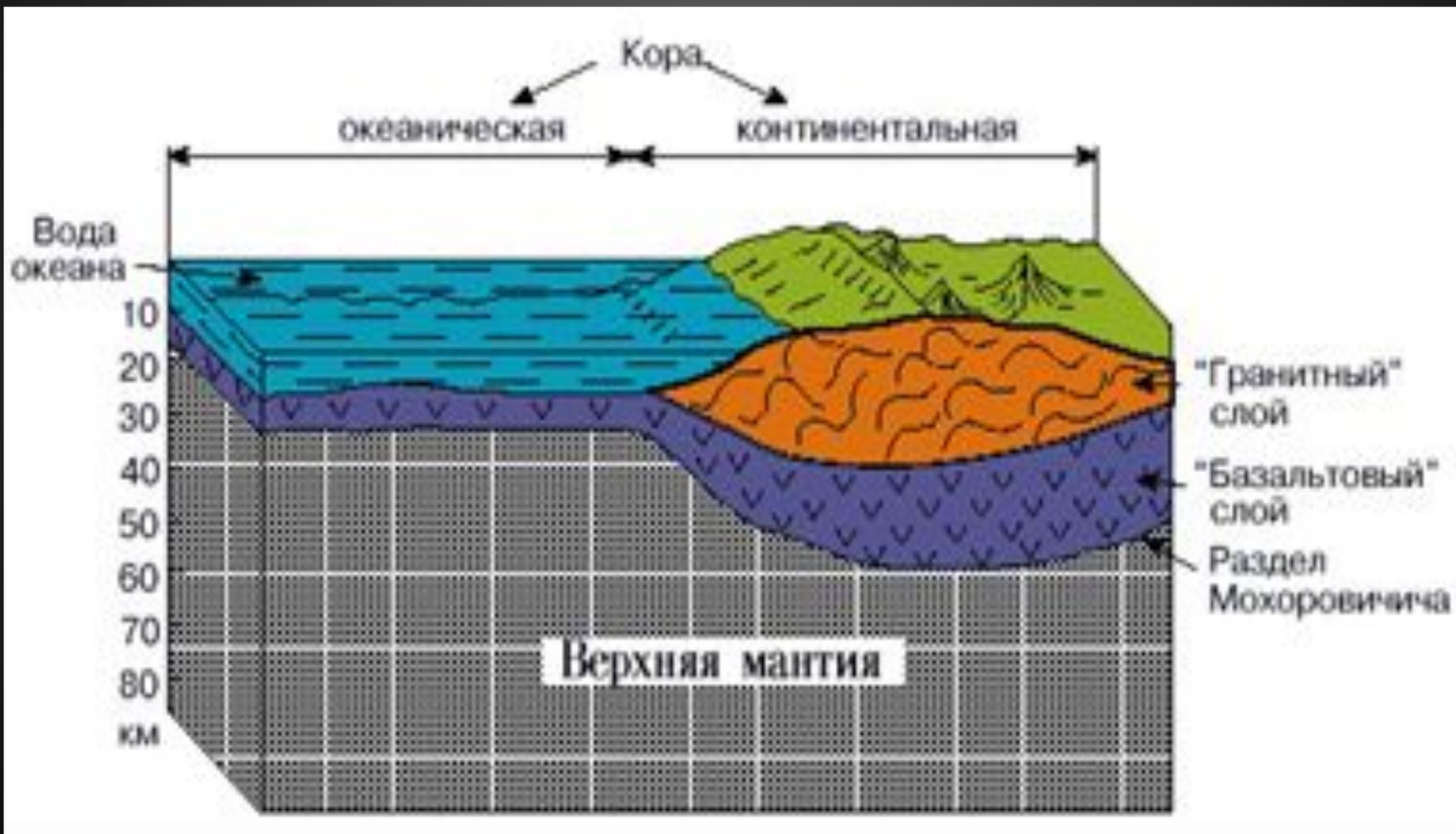
Комплексность процесса



СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

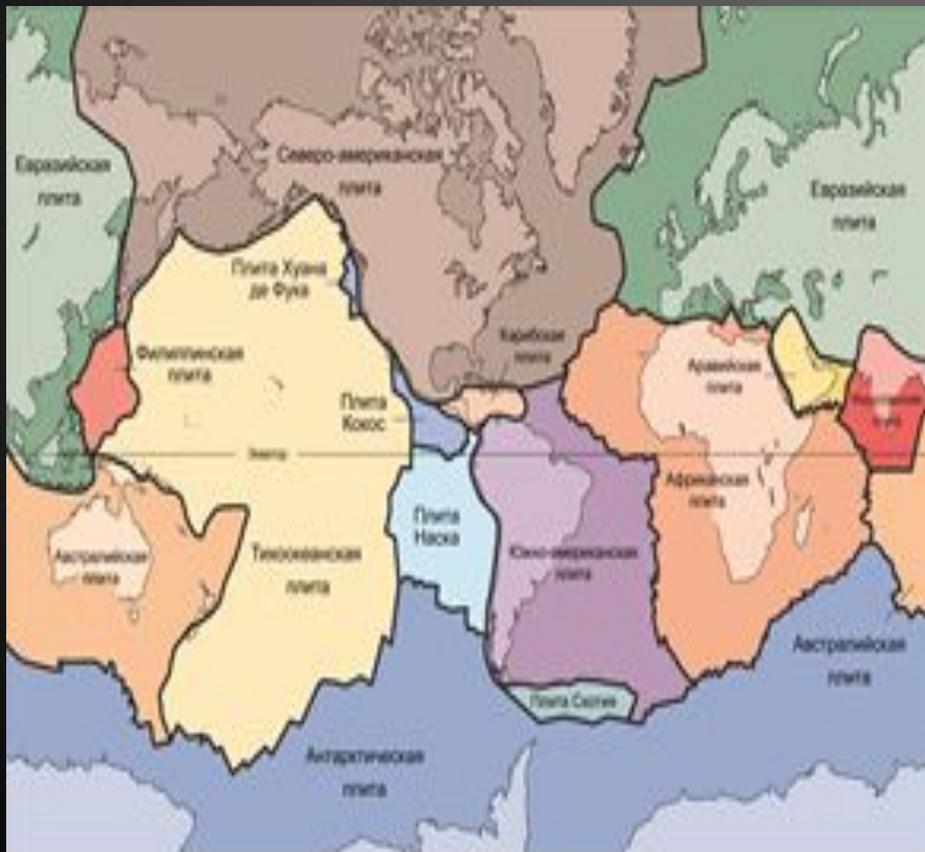
Земная кора океанического
типа

Земная кора
континентального типа

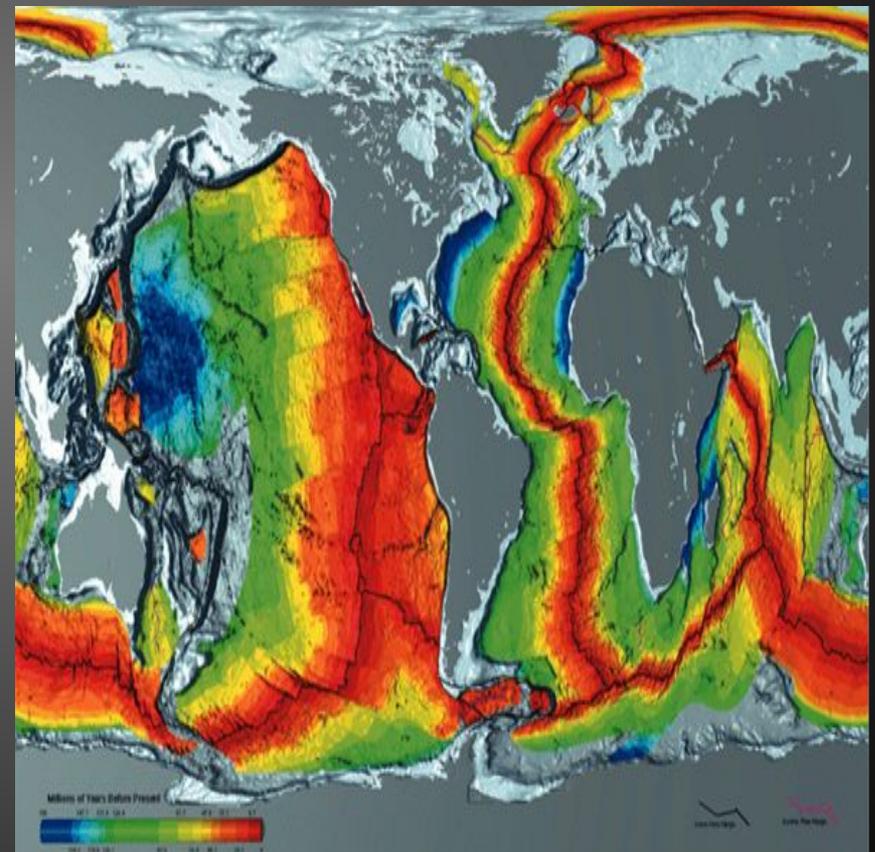


ГЛОБАЛЬНАЯ НЕОТЕКТОНИКА

Границы литосферных плит



Возраст земной коры



Конвергентные границы – границы, вдоль которых происходит столкновение плит

Субдукция – процесс поддвига океанической плиты под континентальную или другую океаническую. Зоны субдукции приурочены к осевым частям глубоководных желобов, сопряжённых с островными дугами (элементы активных окраин материков). На субдукционные границы приходится около 80% протяжённости всех конвергентных границ.

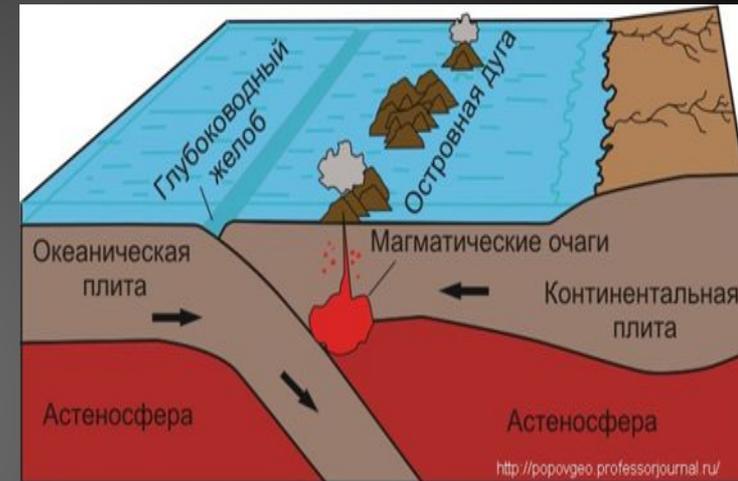
Главных вариантов взаимодействия при столкновении может быть три:

«океаническая – океаническая» при столкновении двух океанических погружается более древняя (то есть более остывшая и плотная) из них; Зоны субдукции имеют характерное строение: их типичными элементами служат глубоководный желоб – вулканическая островная дуга – задуговой бассейн.

Глубоководный желоб образуется в зоне изгиба и поддвига субдуцирующей плиты. По мере погружения эта плита начинает терять воду (находящуюся в изобилии в составе осадков и минералов), последняя, как известно, значительно снижает температуру плавления пород, что приводит к образованию очагов плавления, питающих вулканы островных дуг.

В тылу вулканической дуги обычно происходит некоторое растяжение, определяющее образование задугового бассейна. В зоне задугового бассейна растяжение может быть столь значительным, что приводит к разрыву коры плиты и раскрытию бассейна с океанической корой (так называемый процесс задугового спрединга).

Океаническая субдукция



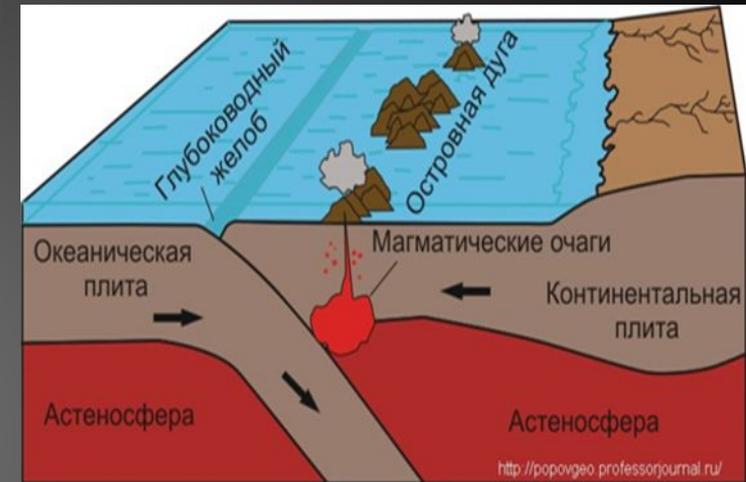
Погружение субдуцирующей плиты в мантию трассируется очагами землетрясений, возникающих на контакте плит и внутри субдуцирующей плиты (более холодной и вследствие этого более хрупкой, чем окружающие мантийные породы). Эта сейсмофокальная зона получила название **зона Беньофа-Заварицкого**. В зонах субдукции начинается процесс формирования новой континентальной коры.

Конвергентные границы – границы, вдоль которых происходит столкновение плит

«океаническая – континентальная» сопровождается поддвигом океанической (более тяжёлой) под край континентальной; Значительно более редким процессом взаимодействия континентальной и океанической плит служит процесс **обдукции** – надвигания части океанической литосферы на край континентальной плиты, тогда происходит расслоение океанической плиты, и надвигается лишь её верхняя часть – кора и несколько километров верхней мантии.

«континентальная - континентальная» - кора их более лёгкая, чем вещество мантии, поэтому не способна в неё погрузиться, края сталкивающихся континентальных плит дробятся, и возникает процесс **коллизии**, он *сопровождается смятием в складки и ростом гор, землетрясениями, ощутимыми изменениями рельефа (гипсометрического уровня).*

Возникают горные сооружения со сложным складчато-надвиговым строением. Классическим примером такого процесса служит столкновение Индостанской плиты с Евразийской, сопровождающееся ростом грандиозных горных систем Гималаев и Тибета.



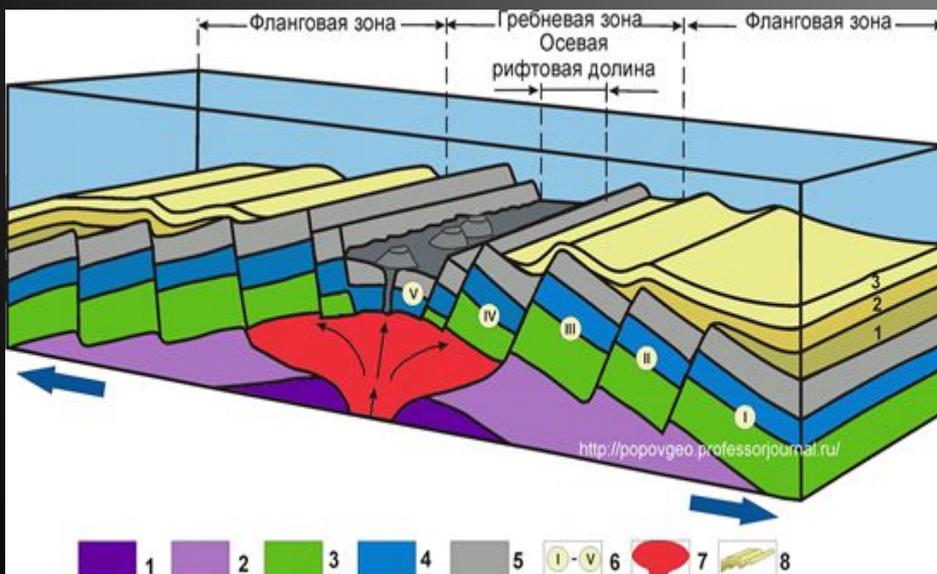
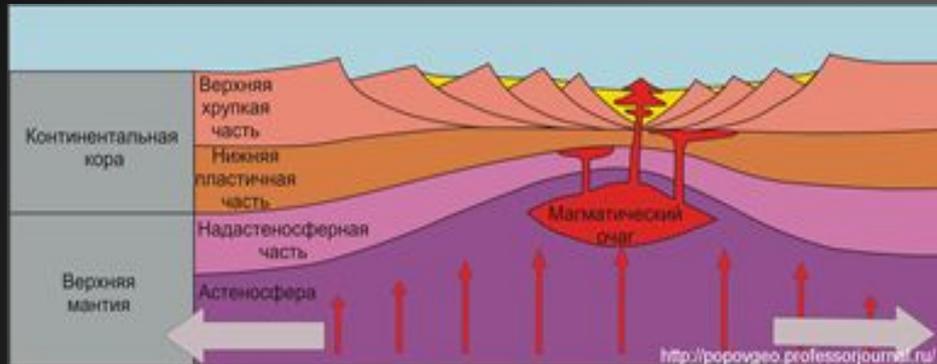
Процесс коллизии сменяет процесс субдукции, завершая закрытие океанического бассейна.

Для коллизионных процессов типичны масштабный региональный метаморфизм и интрузивный гранитоидный магматизм.

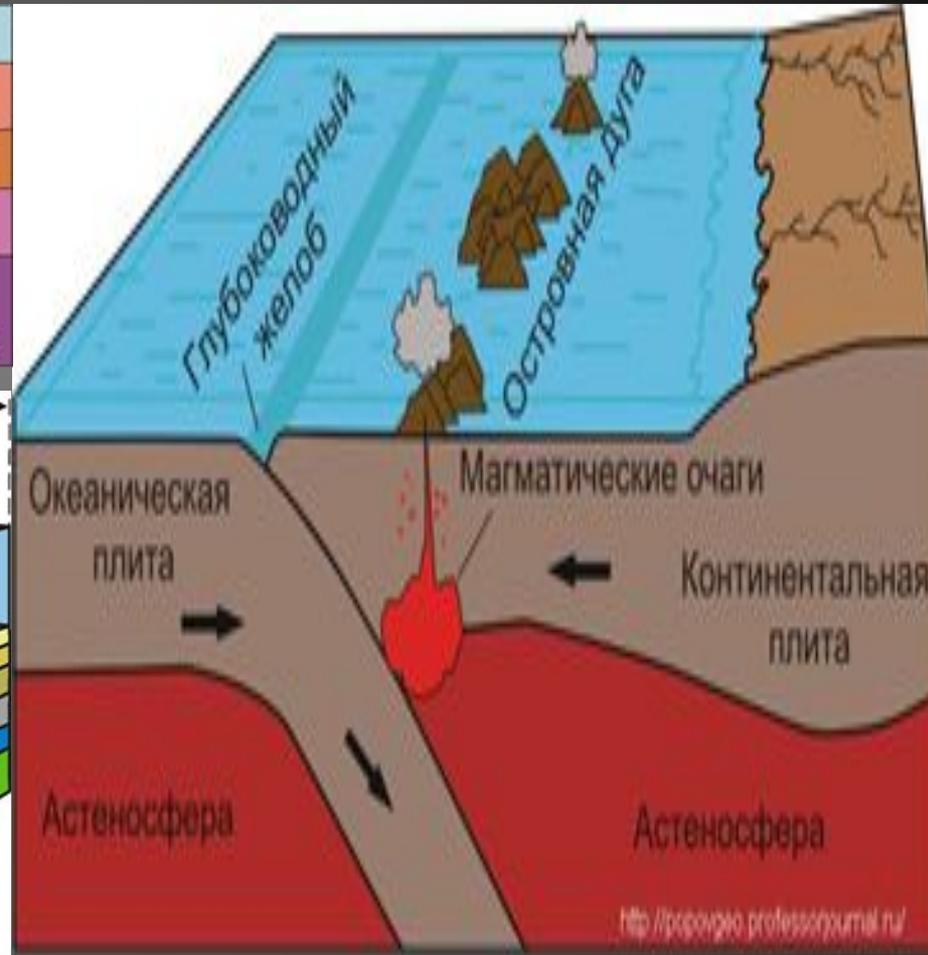
Эти процессы приводят к созданию новой континентальной коры (с её типичным гранито-гнейсовым слоем).

ГЛОБАЛЬНАЯ НЕОТЕКТОНИКА

Зона спрединга



Зона субдукции



Трансформные границы – границы, вдоль которых происходят сдвиговые смещения плит

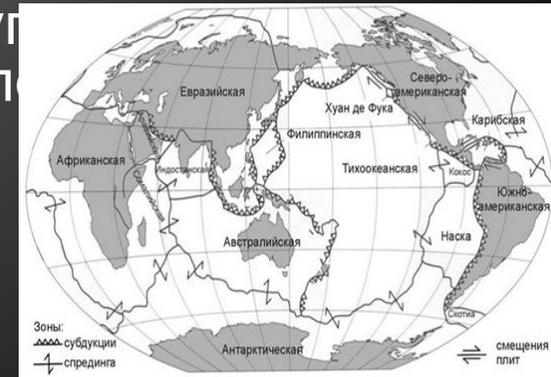
4. Объём поглощённой в зонах субдукции океанской коры равен объёму коры, возникающей в зонах спрединга. Это положение подчёркивает мнение о постоянстве объёма Земли. Но такое мнение не является единственным и окончательно доказанным. Не исключено, что объём планеты меняется пульсационно, или происходит его уменьшение за счёт охлаждения.

5. Основной причиной движения плит служит мантийная конвекция, обусловленная мантийными теплогравитационными течениями. Источником энергии для этих течений служит разность температуры центральных областей Земли и температуры близповерхностных её частей. При этом основная часть эндогенного тепла выделяется на границе ядра и мантии в ходе процесса глубинной дифференциации, определяющего распад первичного хондритового вещества, в ходе которого металлическая часть устремляется к центру, наращивая ядро планеты, а силикатная часть концентрируется в мантии, где далее подвергается дифференциации. Нагретые в центральных зонах Земли породы расширяются, плотность их уменьшается, и они всплывают, уступая место опускающимся более холодными и потому более тяжёлым массам, уже отдавшим часть тепла в близповерхностных зонах. Этот процесс переноса тепла идёт непрерывно, в результате чего возникают упорядоченные замкнутые конвективные ячейки. При этом в верхней части ячейки течение вещества происходит почти в горизонтальной плоскости, и именно эта часть течения определяет горизонтальное перемещение вещества астеносферы и расположенных на ней плит. В целом, восходящие ветви конвективных ячеек располагаются под зонами дивергентных границ (СОХ и континентальными рифтами), нисходящие – под зонами конвергентных границ.

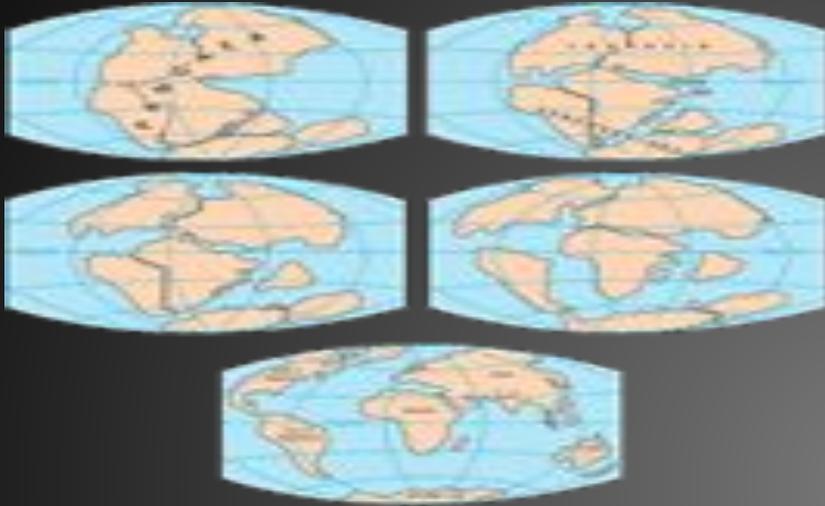
- Под континентами, особенно их древними частями (материковыми щитами), астеносфера почти выклинивается, поэтому континенты как бы оказываются “сидящими на мели”. Поскольку большинство литосферных плит современной Земли включают в себя как океаническую, так и континентальную части, можно предположить, что присутствие в составе плиты континента должно “тормозить” движение всей плиты. Что и происходит в действительности (быстрее всего движутся почти чисто океанские плиты Тихоокеанская, Кокос и Наска; медленнее всего – Евразийская, Северо-Американская, Южно-Американская, Антарктическая и Африканская, значительную часть площади которых занимают континенты). Наконец, на конвергентных границах плит, где тяжёлые и холодные края литосферных плит (слэбы) погружаются в мантию, их отрицательная плавучесть создает силу, действие которой приводит к тому, что субдуцирующая часть плиты тонет в астеносфере и тянет за собой всю плиту, увеличивая тем самым скорость ее движения. Очевидно, эта сила действует эпизодически и только в определенных геодинамических обстановках.
- Таким образом, – силы FRP и FNB. Роль того или иного движущего механизма, а также тех или иных сил оценивается индивидуально для каждой литосферной плиты.

Основные положения неотектоники

6. Перемещения плит подчиняются законам сферической геометрии и могут быть описаны на основе теоремы Эйлера. Теорема вращения Эйлера утверждает, что любое вращение трёхмерного пространства имеет ось. Таким образом, вращение может быть описана тремя параметрами: координаты оси вращения (например, её широта и долгота) и угол поворота. На основании этого положения может быть реконструировано положение континентов в прошлые геологические эпохи. **Анализ перемещений континентов привёл к выводу, что каждые 400-600 млн. лет они объединяются в единый суперконтинент, подвергающийся в дальнейшем распаду.** В результате раскола такого суперконтинента Пангеи, произошедшего 200-150 млн. лет назад, образовались современные континенты.



ДРЕЙФ МАТЕРИКОВ

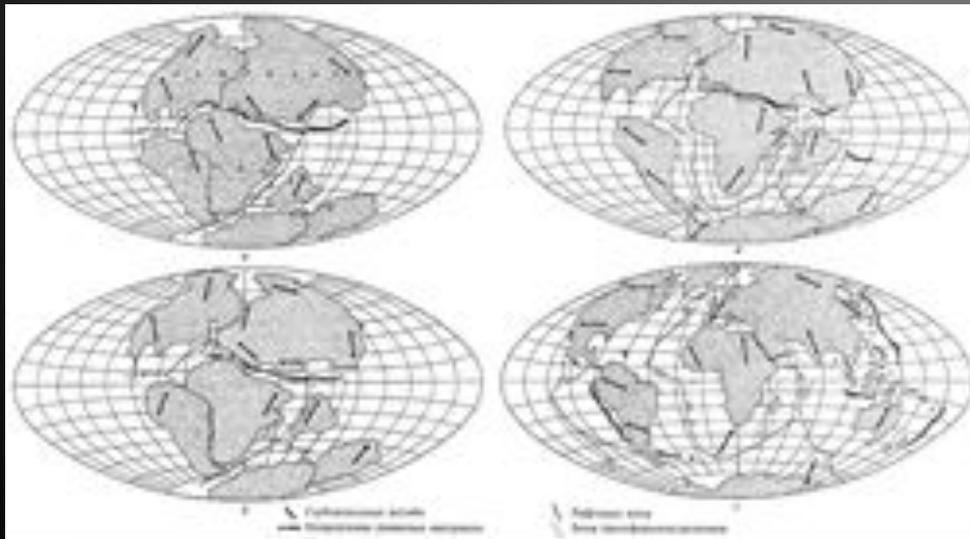


Потрескалась земная вся кора:
Здесь очутилась пропасть, там —
гора.

Переверотов было тут немало:
Вершина дном, а дно вершиной
стало —

И люди так же точно все потом
В теориях поставили вверх дном.

И.В. Гёте. Фауст



- 225 млн.л.н. – праматерик Пангея
- а — 180 млн. лет назад (Лавразия и Гондвана);
- б — 135 млн. лет назад;
- в — 65 млн. лет назад;
- г — современное расположение материков

ДРЕЙФ МАТЕРИКОВ

- **Теория дрейфа материков** была предложена немецким географом А. Вегенером на основе накопившихся научных данных. Она описывает движение (объединение и распад континентов), основанное на тектонике плит.
- Совпадение очертаний побережья Африки и Южной Америки было замечено ещё Фрэнсисом Бэконом в 1620-х. Идею о движении материков выдвинул в 1668 французский теолог Франко Плаке. Немецкий теолог Теодор Лилиенталь пошёл дальше Бэкона, когда в 1756 предположил, что побережья Африки и Южной Америки точно соответствуют друг другу. Антонио Снидер, живший в Париже американец, в 1858 году предположил, что когда Земля остывала, она сжималась неравномерно, и по этой причине вещество на поверхности раскололось на части. Он представил, кроме того, общие для двух материков горные породы и ископаемые останки Евграф Быханов, российский астроном-любитель, в своей книге 1877 года сформулировал гипотезу горизонтального перемещения материков.
- Особый интерес представляют те периоды истории Земли, в которых все континенты были объединены в один суперконтинент и вновь распадались. Наука говорит в этой связи о циклах суперконтинентов, которых в истории было от пяти до шести. Однако лишь последние два суперконтинента под названиями Пангея и Родиния общепризнаны. При сохранении современного движения континентов следующий суперконтинент возникнет примерно через 300 миллионов лет.

ДРЕЙФ МАТЕРИКОВ

- Предположительно, земная твердь **225 млн лет назад** составляла единый массив суши - это был единый материк Пангея. Но около **180 млн лет** назад произошел раскол: отделился северный материк — Лавразия, содержащий в себе праматерики Северную Америку и Евразию, а южный материк — Гондвана - начал распадаться на Южную Америку, Индию, Австралию и Антарктиду.
- **135 млн лет назад** Лавразия еще существовала в прежнем (после раскола) виде, а на юге сформировались два больших блока: Южная Америка с Африкой (были еще слитны), Австралия и Антарктида. Примерно в то же время Индия устремилась к Азии. Итак, Гондвана включала в себя большую часть Южной Америки (без Анд), Африки (без Атласских и Капских гор), Австралии (без Большого Водораздельного хребта), Аравию, Индостан, большую часть Антарктиды (без гор Антарктического полуострова на продолжении Анд).
- **65 млн лет назад** начался раскол Лавразии. Предположительно в это время уже откололась Южная Америка. Индия, вследствие довольно быстрого движения литосферной плиты, "врезалась" в окраинные части Азиатской платформы, что привело к смятию больших толщ литосферного фундамента в складки и образованию высоких гор.
- **В мезозое (конец триаса—начало юры)** произошло разделение Евразии и Северной Америки, а в меловом периоде — отделение Южной Америки от Африки. Предполагают, что эти движения происходили под действием центробежной силы.
- В 1920 г. Джеффрис доказал, что для разбегания материков необходима колоссальная центробежная сила. По изучению астеносферы можно предположить, что конвективные движения материи в мантии приводят в движение литосферные плиты. Причиной служит, предположительно,

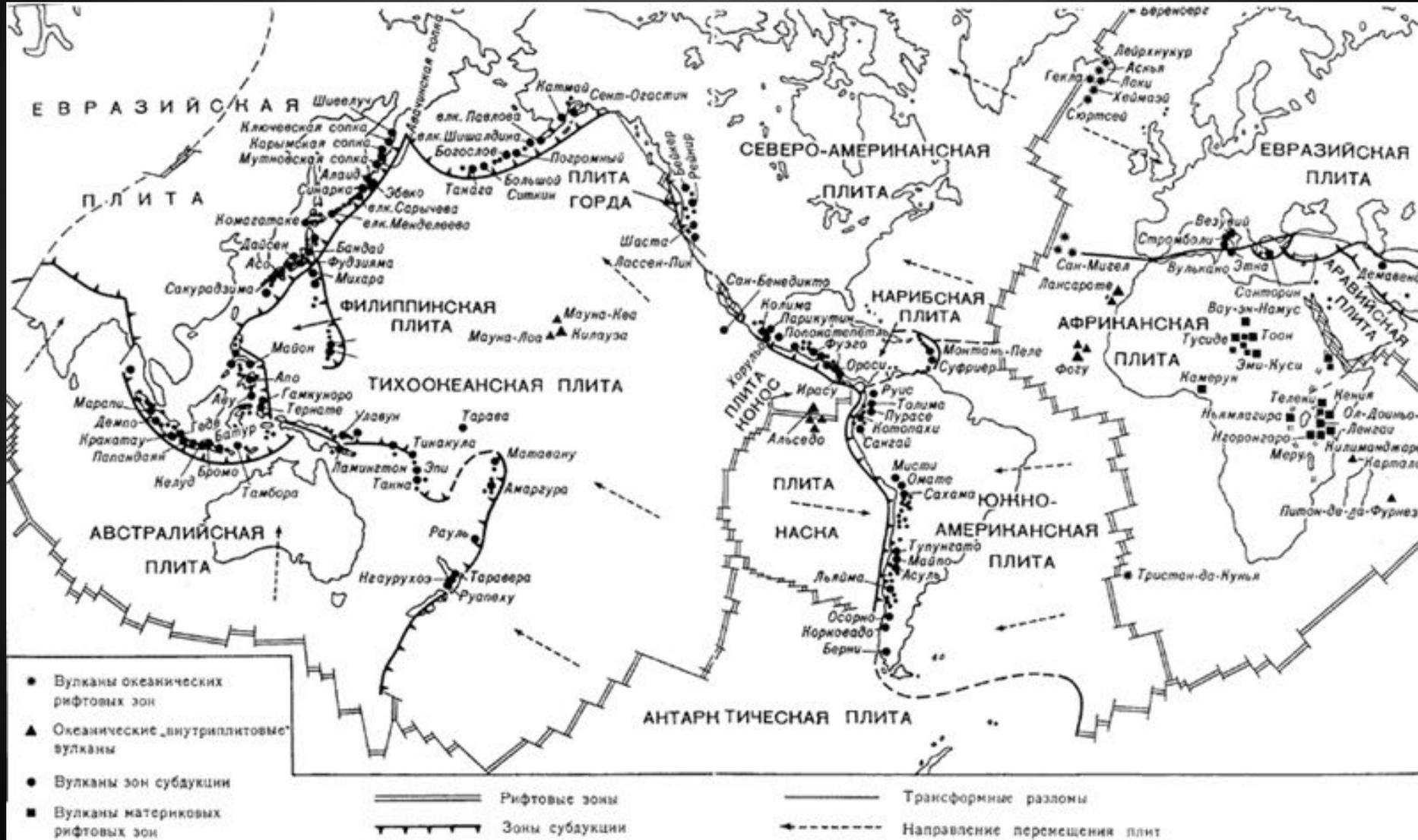
О существовании в прошлом единого материка говорят и палеомагнитные данные — по ним была выявлена мобильность материков. Но За все время фанерозоя (600 млн лет) магнитные полюса Земли не меняли своего положения, а меняли положение материи. Так же установлено, что Пангея не могла существовать раньше перми. А в карбоне-девоне материи были разобщены на 3—4 самостоятельных материка. Установлено также явное разделение Пангеи в триасе, отделение Северной Америки от Европы, а в мелу — отделение всех южных материков от Гондваны. Происходило быстрое перемещение Индостана к северу (мел-плиоцен). Австралия от Антарктиды отделилась предположительно в кайнозое. В это же время раскрываются впадины океанов: Атлантического и других, существовавших на месте древнего океана Тетис.

Анализ перемещений континентов показал, что континенты каждые 400—600 млн лет собираются в огромный материк, содержащий в себе почти всю континентальную кору — **суперконтинент**. Современные континенты образовались 200—150 млн лет назад, в результате раскола суперконтинента **Пангея**. Сейчас континенты находятся на этапе почти максимального разъединения. **Атлантический океан** расширяется, а **Тихий океан** закрывается. **Индостан** движется на север и сминает Евразийскую плиту, но, видимо, ресурс этого движения уже почти исчерпан, и в скором геологическом времени в **Индийском океане** возникнет новая зона субдукции, в которой океаническая кора Индийского океана будет поглощаться под Индийский континент.

СОВРЕМЕННЫЙ ДРЕЙФ МАТЕРИКОВ

- Это происходит в результате горизонтального перемещения крупных плит литосферы, расширения океанической земной коры и разрастания океанских впадин в связи с рифтовым вулканизмом и притоком мантийного вещества в срединно-океанических хребтах (зонах спрединга) и поглощением его в глубоководных желобах переходных зон или при столкновении континентальных и океанических литосферных плит (в зонах субдукции).
- Если к зонам субдукции вместе с океанической литосферой с двух сторон придвигаются материковые плиты, может произойти замыкание океана. Накопившиеся в нем осадочные толщи сминаются в складки и воздымаются в виде шовной зоны, что приводит к разрастанию суши и формированию новых континентов.
- В то же время уже существующие материки в процессе перемещения раскалываются, расходятся в стороны; формируются внутриконтинентальные рифтовые зоны, на месте которых происходит разрастание новых океанов

СОВРЕМЕННЫЙ ДРЕЙФ МАТЕРИКОВ



Вывод

- Таким образом, формирование современного лика Земли — это **единый процесс**, в который вовлечены как материки, так и океаны.
- Но результаты его на дне океанов и на материках **различны**: в одном случае — однородная горизонтальная поверхность водных масс и скрытая под ними земная кора, в другом -- сложно построенная и расчлененная поверхность суши с большими контрастами высот и форм рельефа. Влияние внешних факторов дифференциации природы, связанных с поступлением солнечной энергии и неравномерностью ее распределения по земной поверхности, проявляется различно на материках и океанах.

Спасибо за внимание ;)

