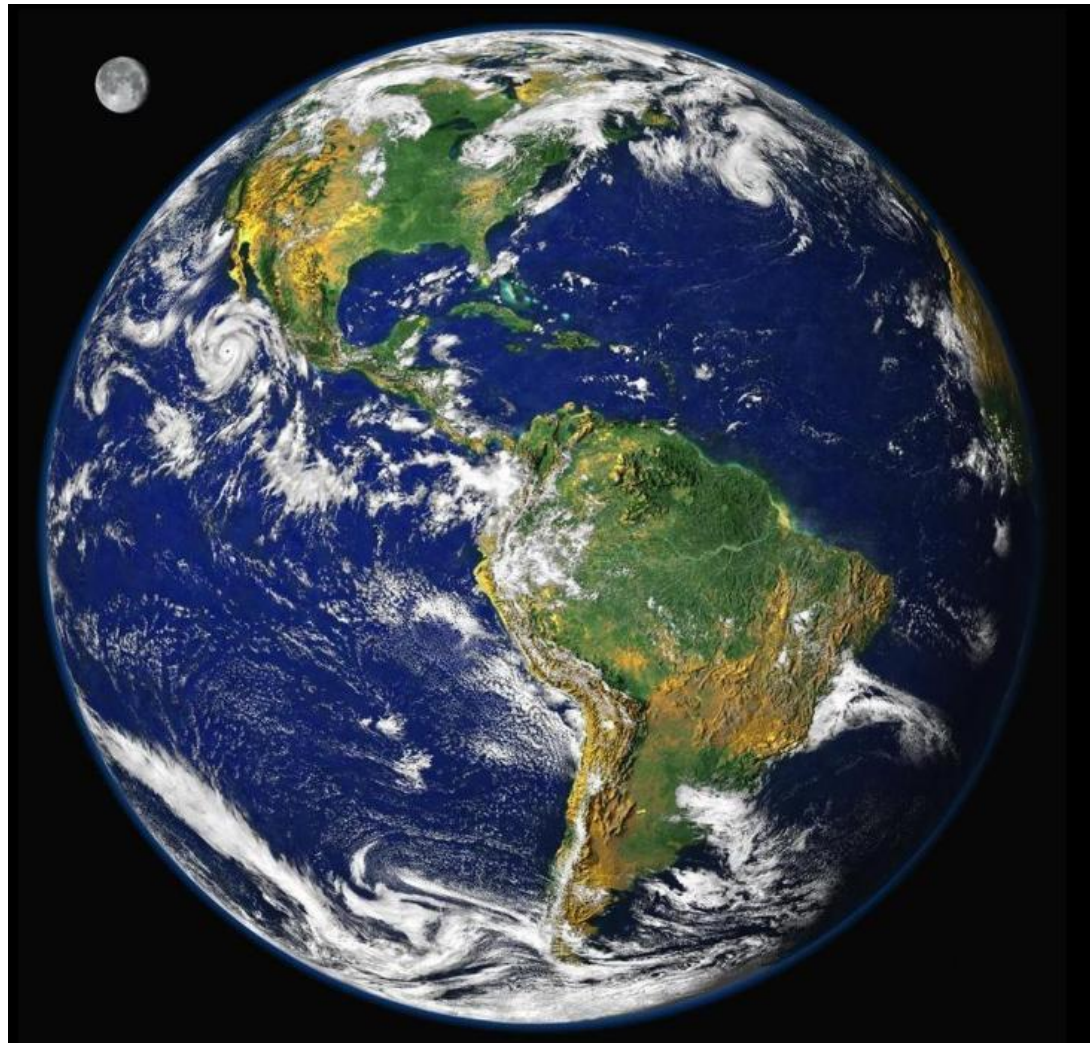


**Земля
форма,
размеры,
внутренне
е строение**



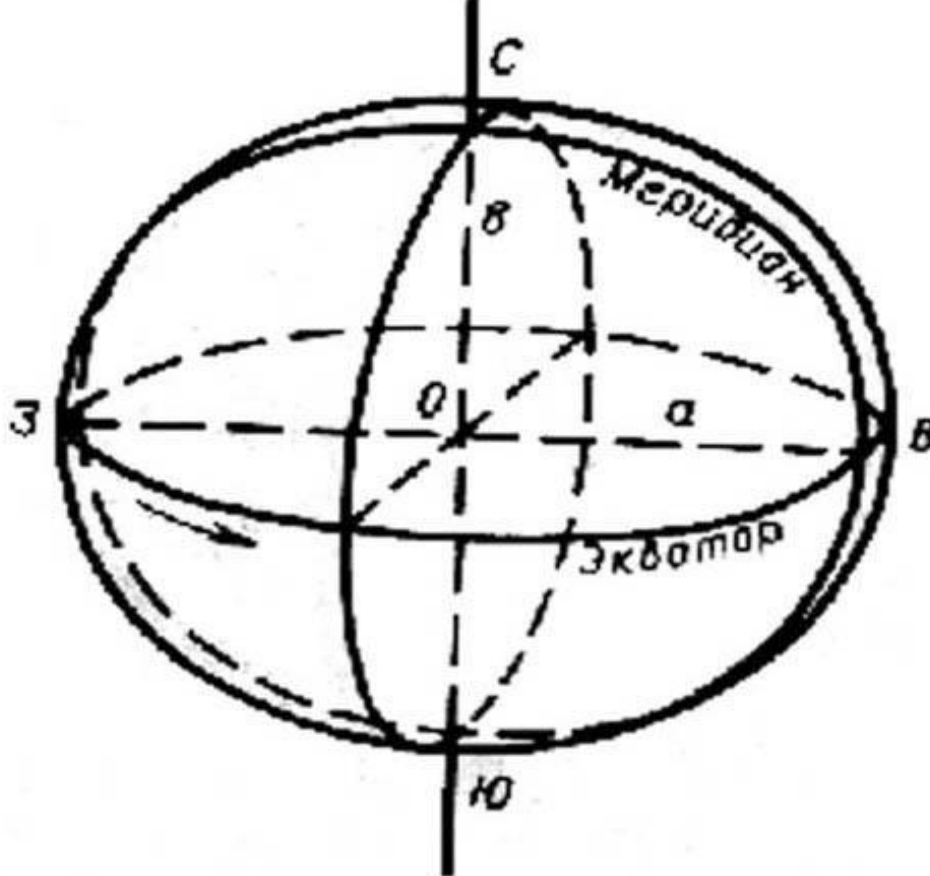


Рис. 1.1. Эллипсоид вращения.

Большая экваториальная ось (ЗОВ),

малая полярная ось (СОЮ).

Величины $a = \text{ЗОВ}/2$ и $b = \text{СОЮ}/2$ соответствуют
полуосям эллипсоида.

Пифагор - V в. до н.э., Аристотель - III в. до н.э. и др.:
Земля - шар.

И. Ньютон - *эллипсоид вращения, или сфероид.*

- Земля сжата не только на полюсах, но и по экватору (наибольший и наименьший радиусы по экватору отличаются на 210 м), т.е. Земля является **трехосным эллипсоидом**.
- Земля несимметричная по отношению к экватору: южный полюс ближе к экватору, чем северный.

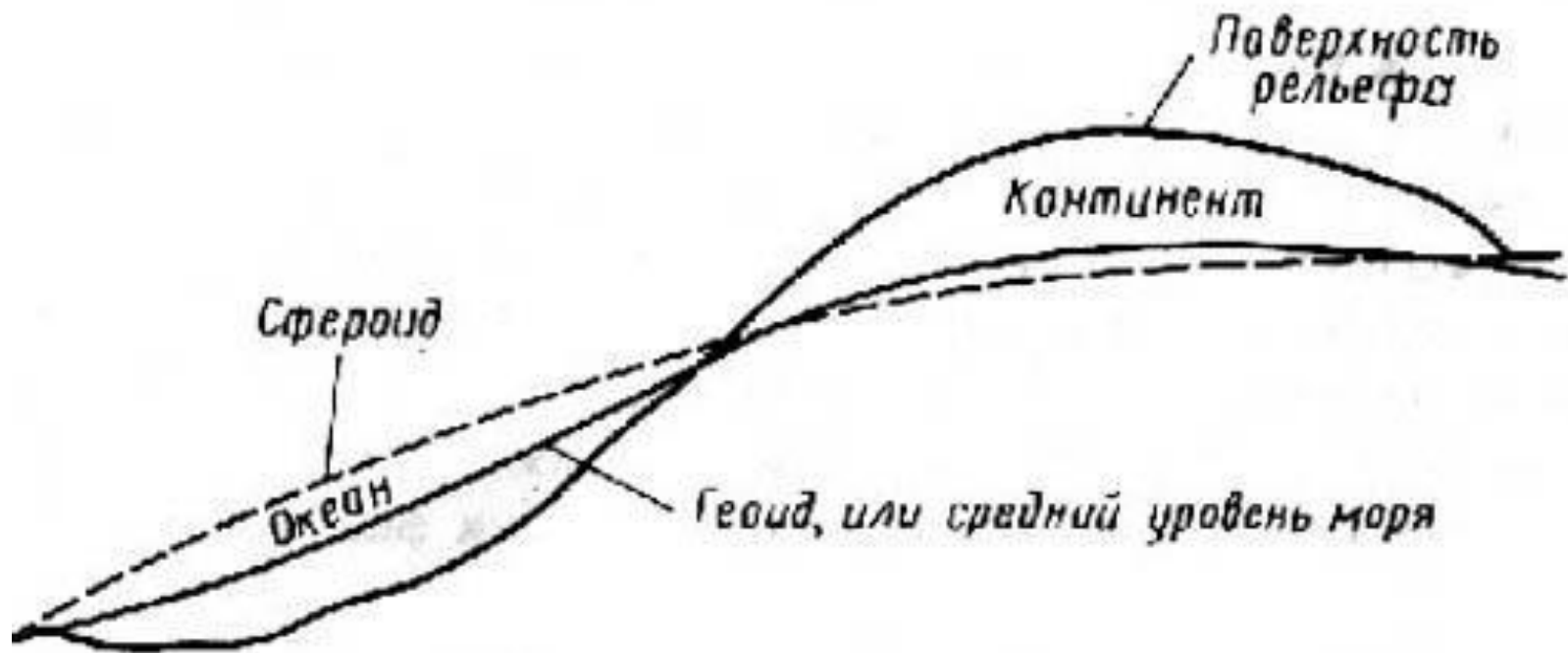


Рис. 1.2. Поверхности рельефа, сфероиды и геоиды

Направление силы тяжести к поверхности **геоида** всюду перпендикулярно.

Поверхность геоида приближается к поверхности трехосного эллипсоида, отклоняясь от него местами на величину 100 - 150 м

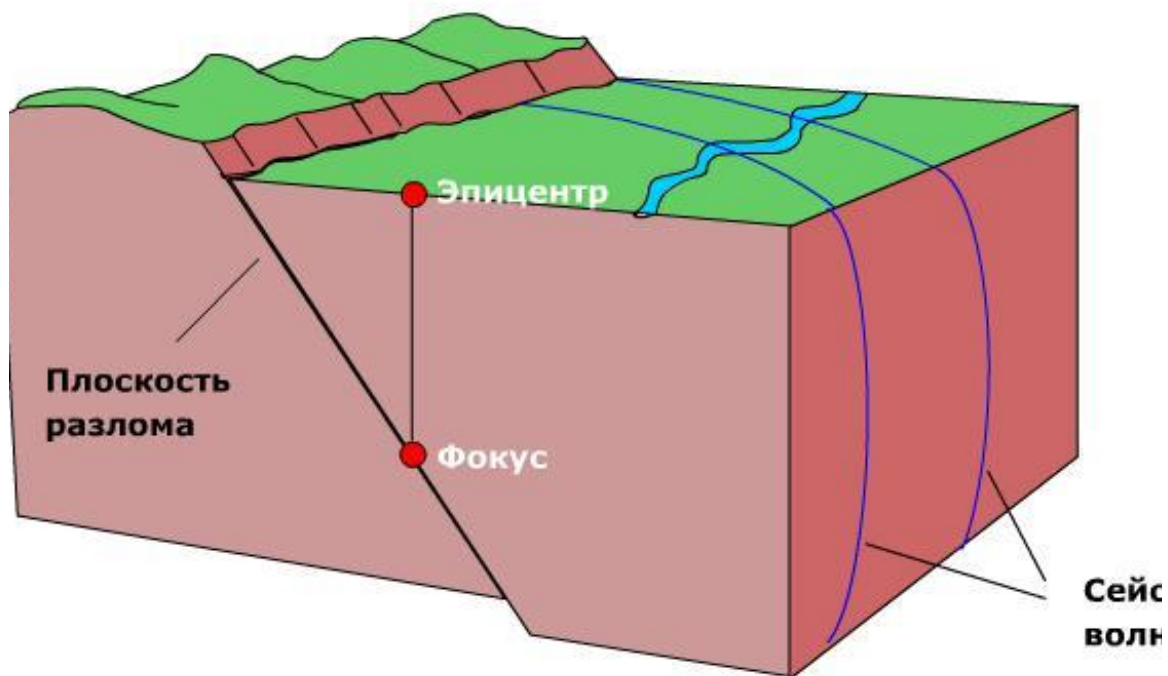
- В России в настоящее время принимается *эллипсоид Ф. Н. Красовского*.
- экваториальный радиус 6378,245 км,
- полярный радиус - 6356,863 км,
- полярное сжатие- 1/298,25.

- Объем Земли составляет $1,083 \cdot 10^{12}$ км³,
- а масса - $6 \cdot 10^{27}$ г.
- Ускорение силы тяжести на полюсе 983 см/с², на экваторе 978 см/с².

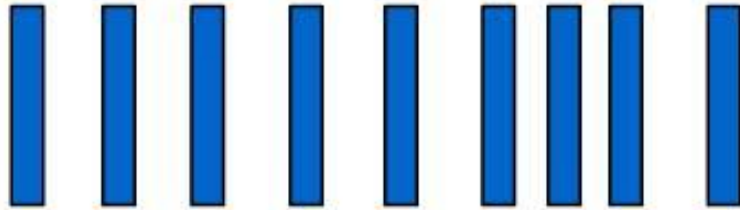
- Площадь поверхности Земли около 510 млн. км²,
- из которых 70,8% представляет Мировой океан и 29,2% - суша.
- В распределении океанов и материков наблюдается определенная дисимметрия.
- В Северном полушарии соотношение океанов и материков составляет 61 и 39%,
- в Южном – 81 и 19%.

внутреннее строение Земли

Методы изучения недр



P-волна



←→
Направление распространения волн

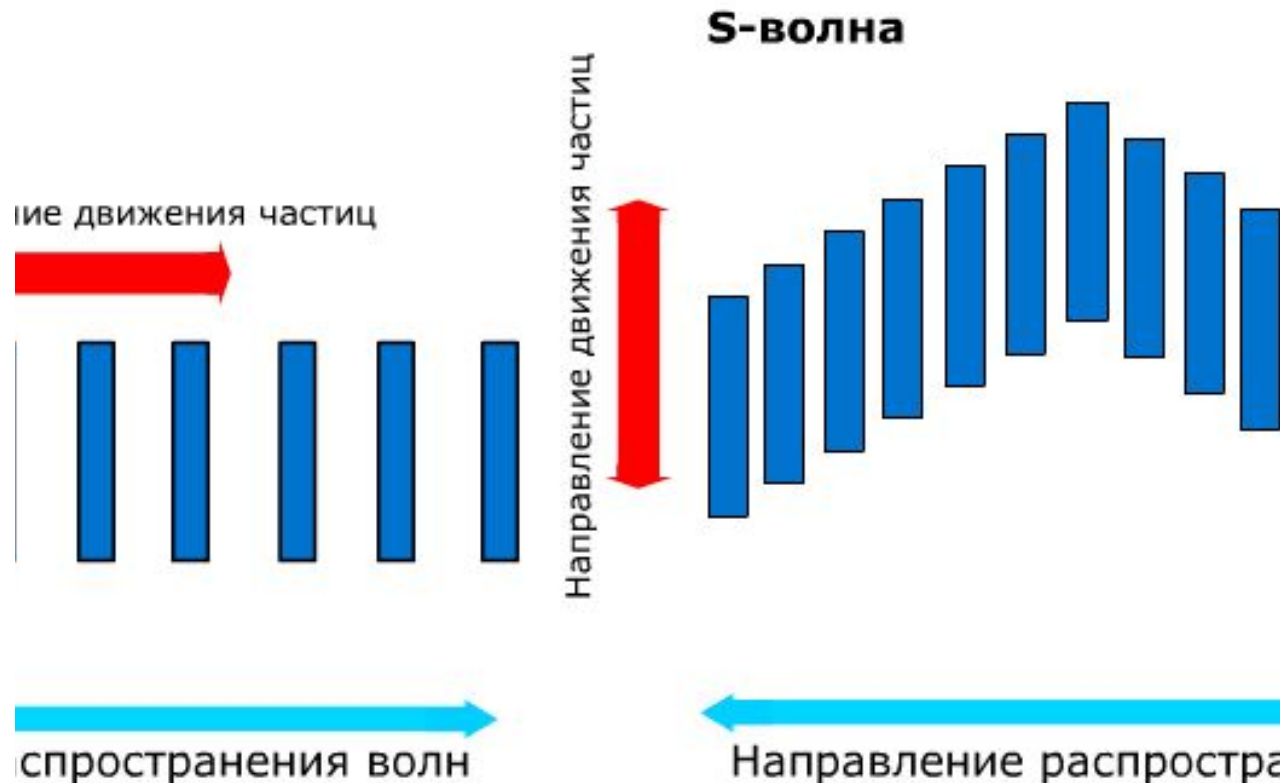
По скорости и характеру движения через оболочки Земли различают два типа сейсмических волн: P-волны, или первичные (primary) волны и S-волны, или вторичные

S-волна



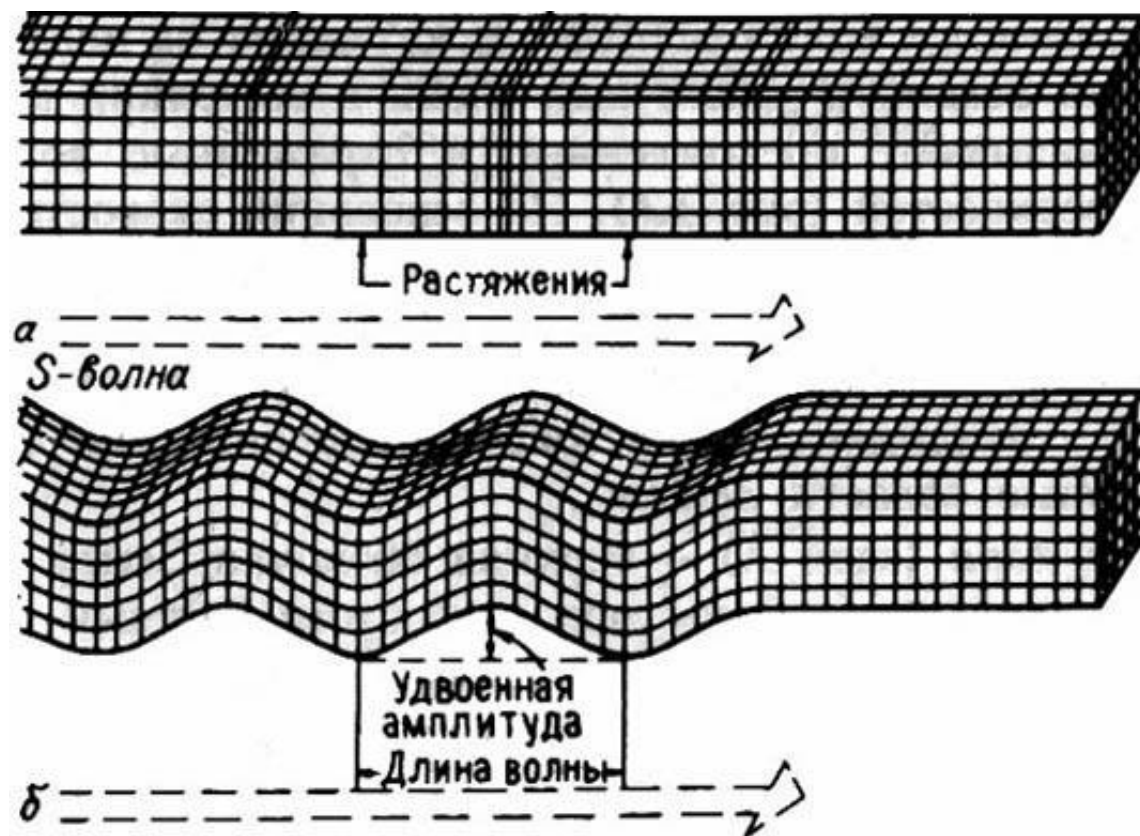
←→
Направление распространения волн

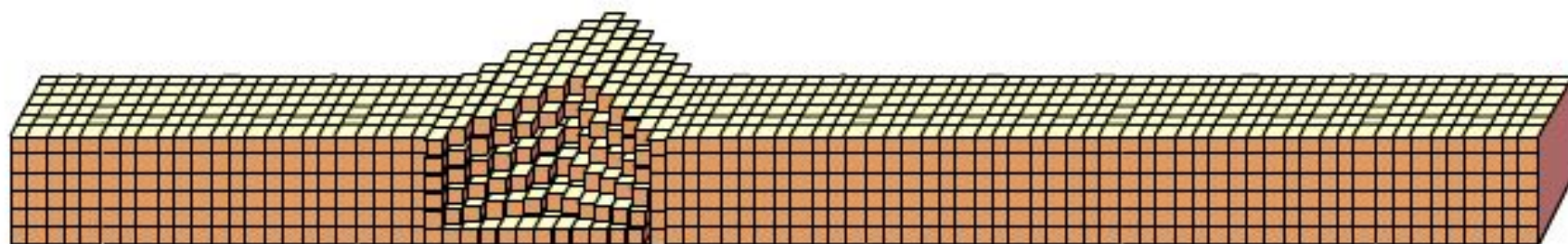
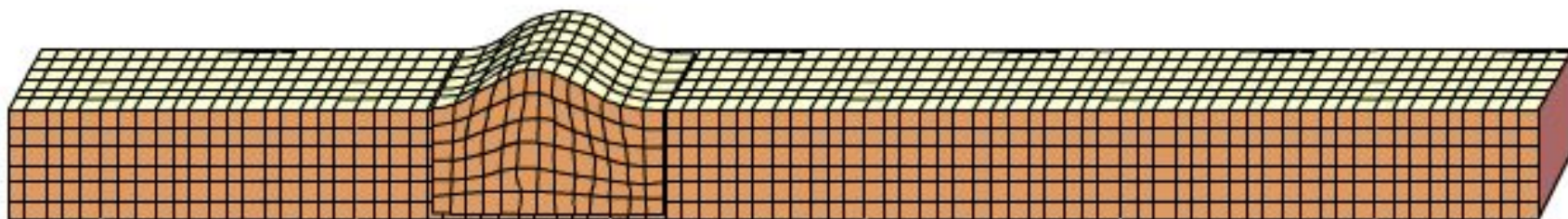
(secondary) волны. P-волны это наиболее быстрые волны: скорость P-волн в граните около 6 км/с. Скорость S-волн в граните около 3,6 км/с.



P-волны - колебания частиц происходят в направлении движения волны. Распространяются в газообразных, жидких и твердых средах.

S-волны распространяются в твердых средах. Движение частиц происходит перпендикулярно направлению распространения волны.

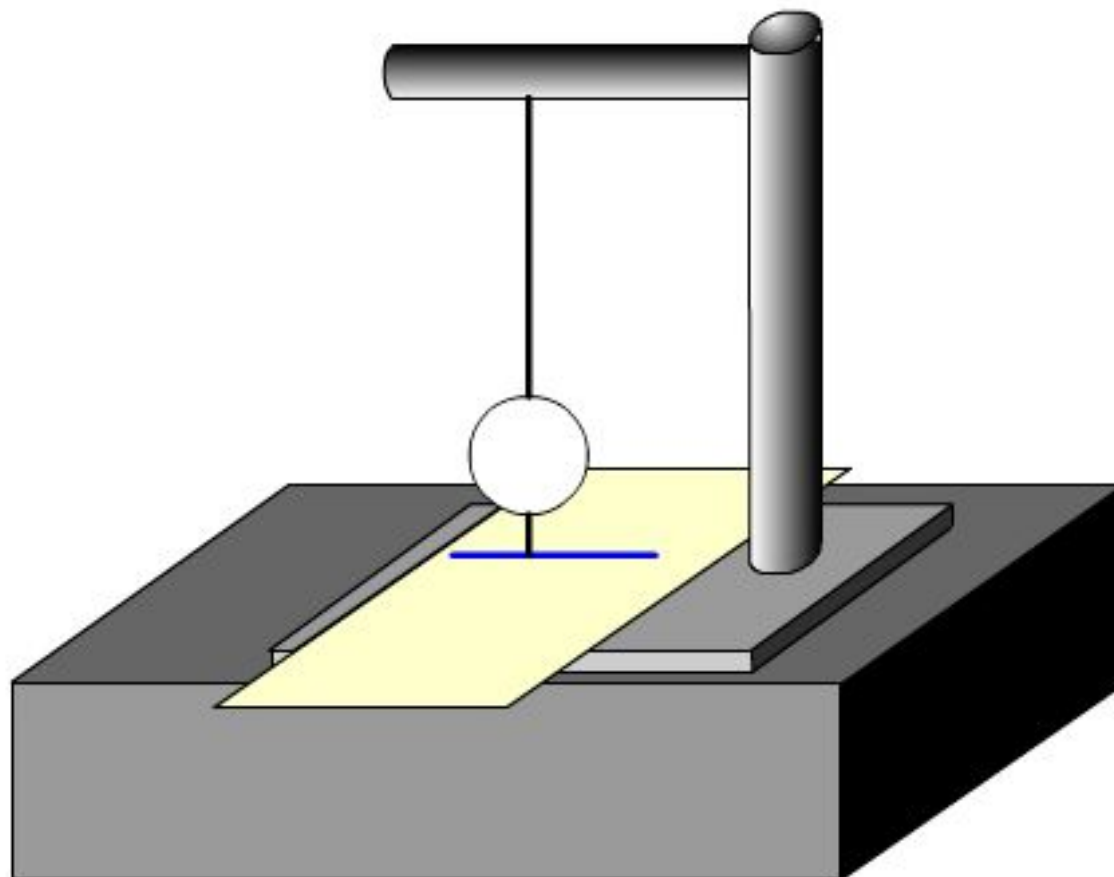




L-волны распространяются вдоль поверхности Земли.

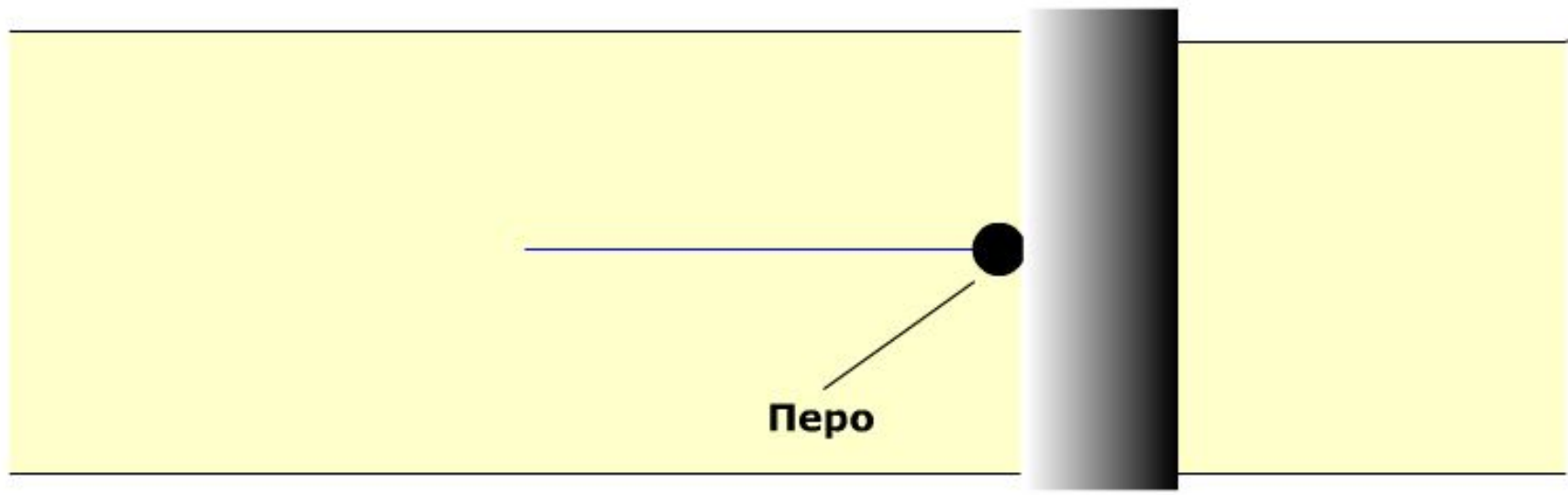
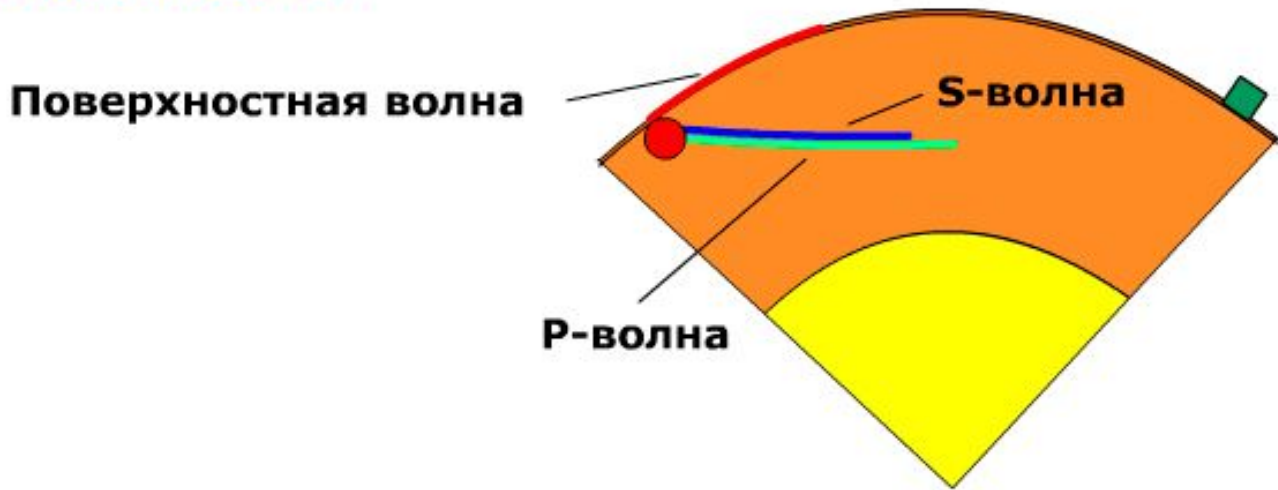
Скорость немного меньше, чем скорость S-волн.

Приводит к наиболее серьезным разрушениям во время землетрясений

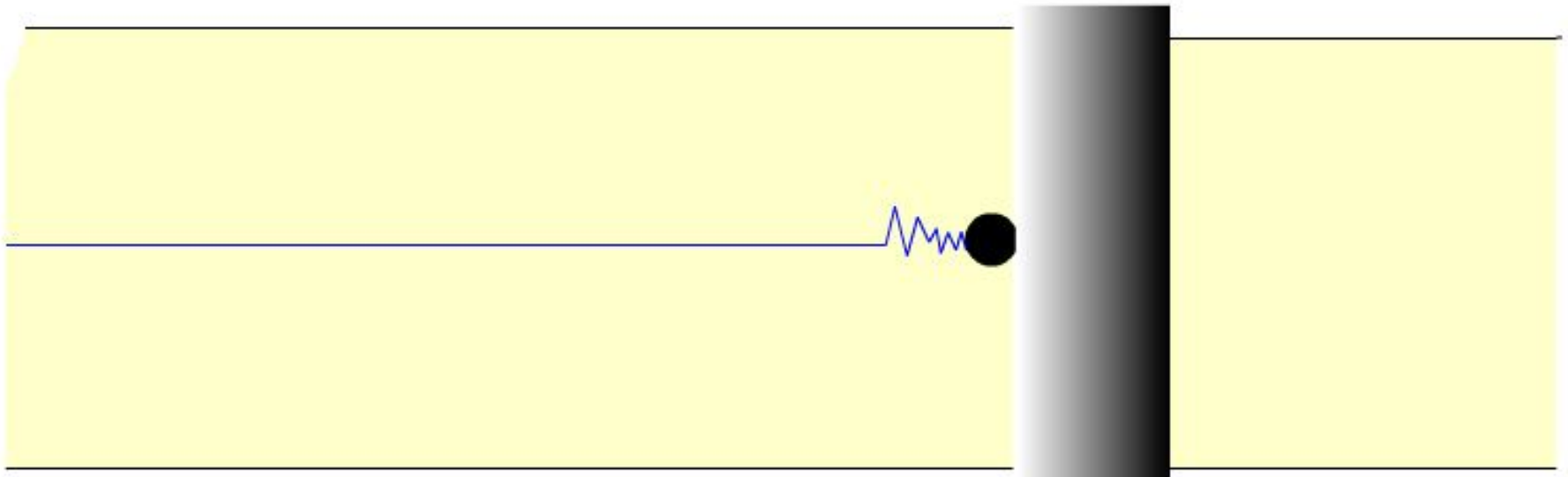
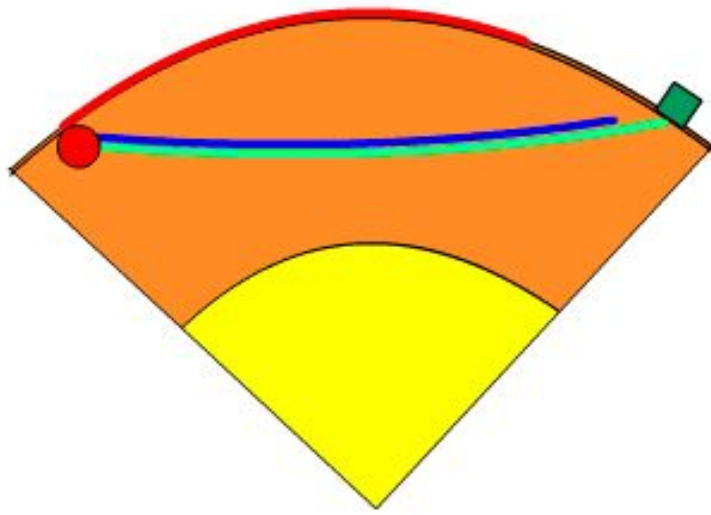


Сейсмограф

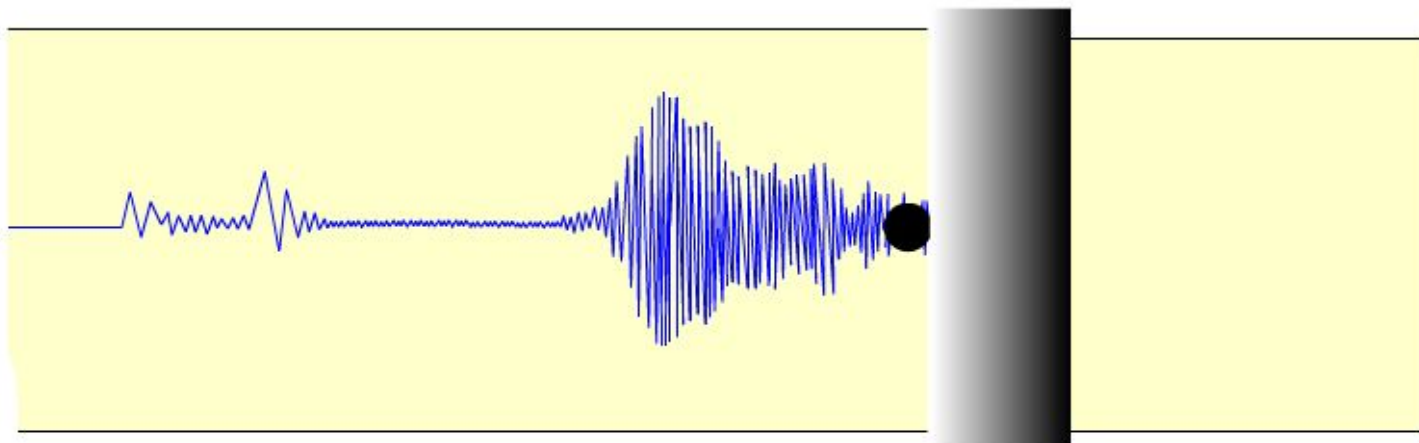
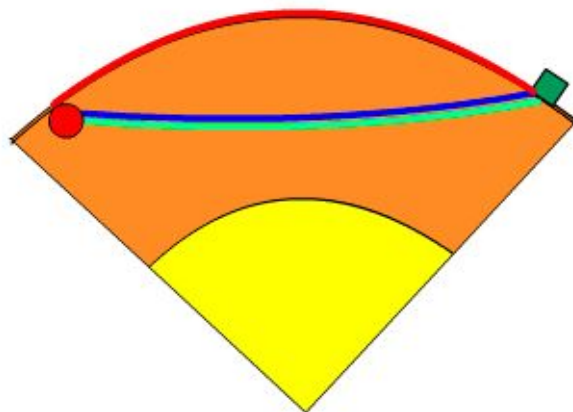
Сейсмограмма



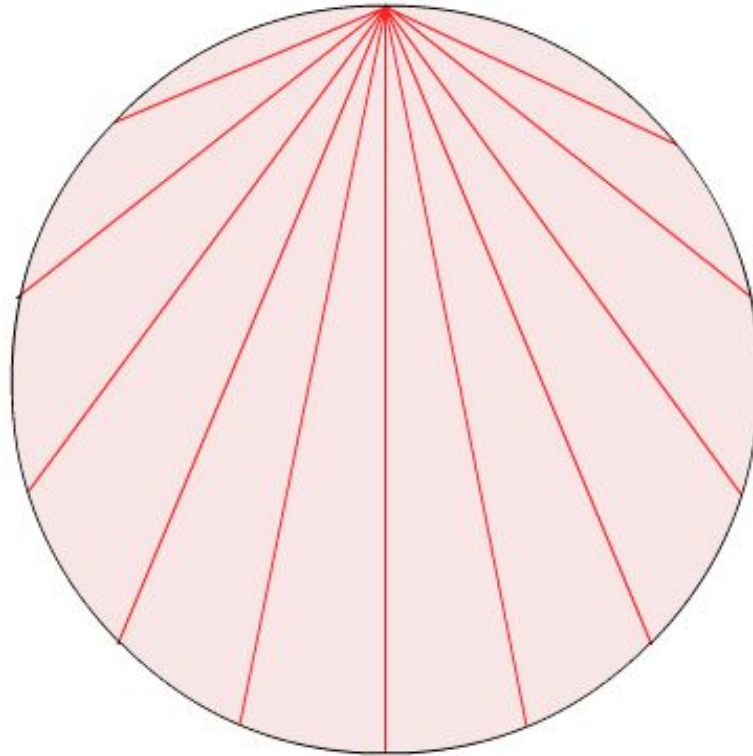
Сейсмограмма



Сеисмограмма

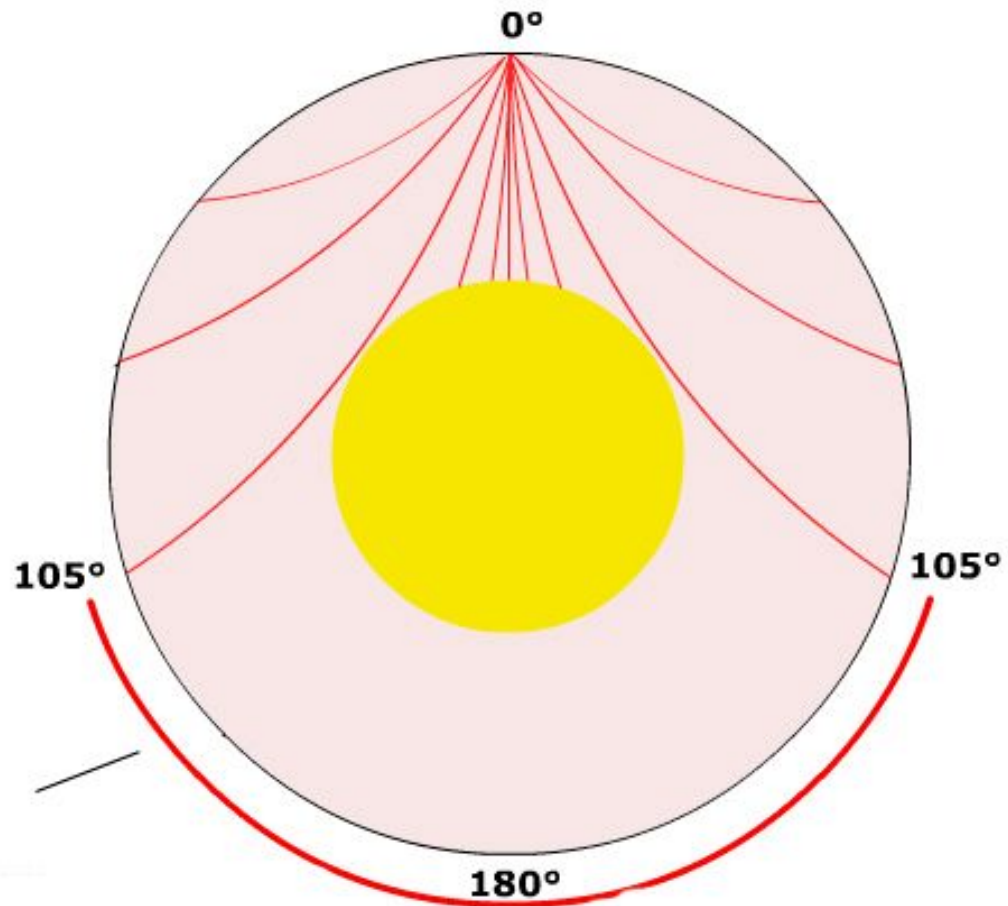


Структура недр

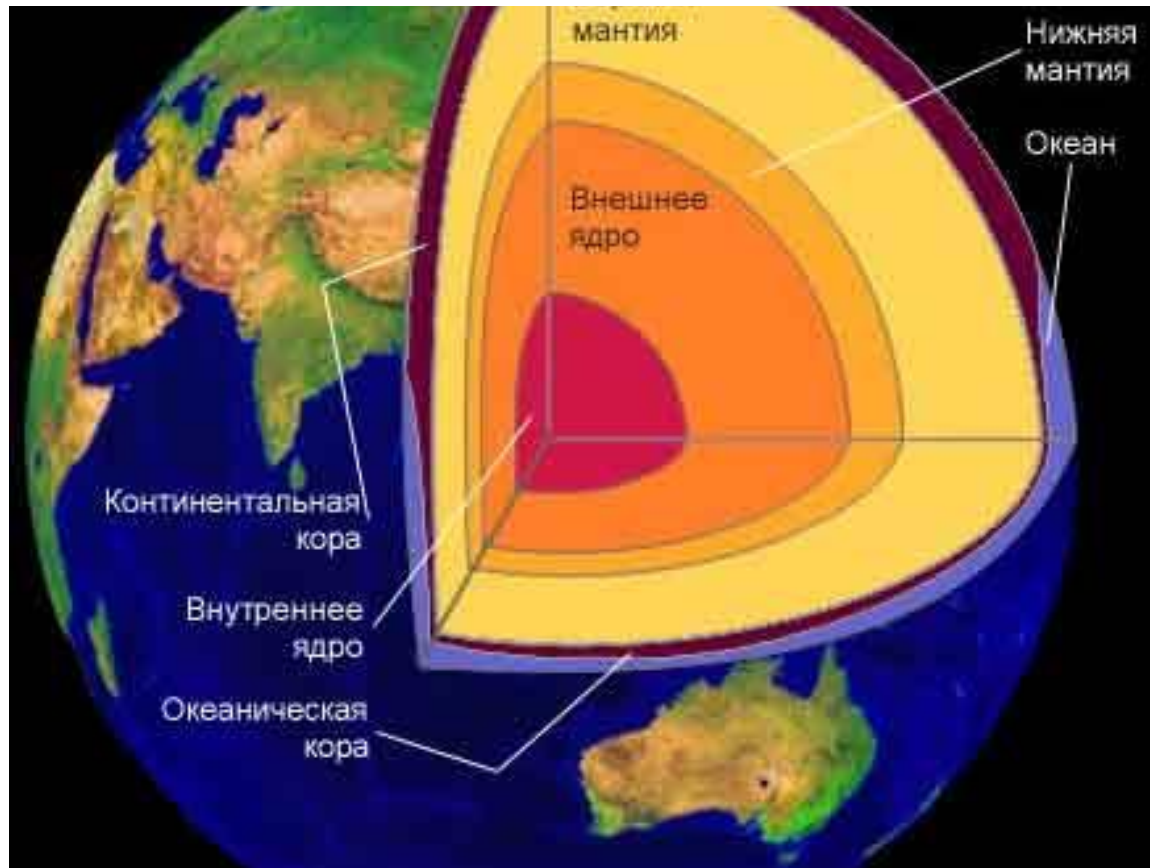


Если бы Земля была однородной, с постоянной плотностью, сейсмические волны распространялись бы с одинаковой скоростью во всех направлениях

Структура недр



Теневая зона S-волн показывает, что ядро жидкое



1. Земная кора

2. Мантия Земли, до глубин 2900 км.

верхняя мантия

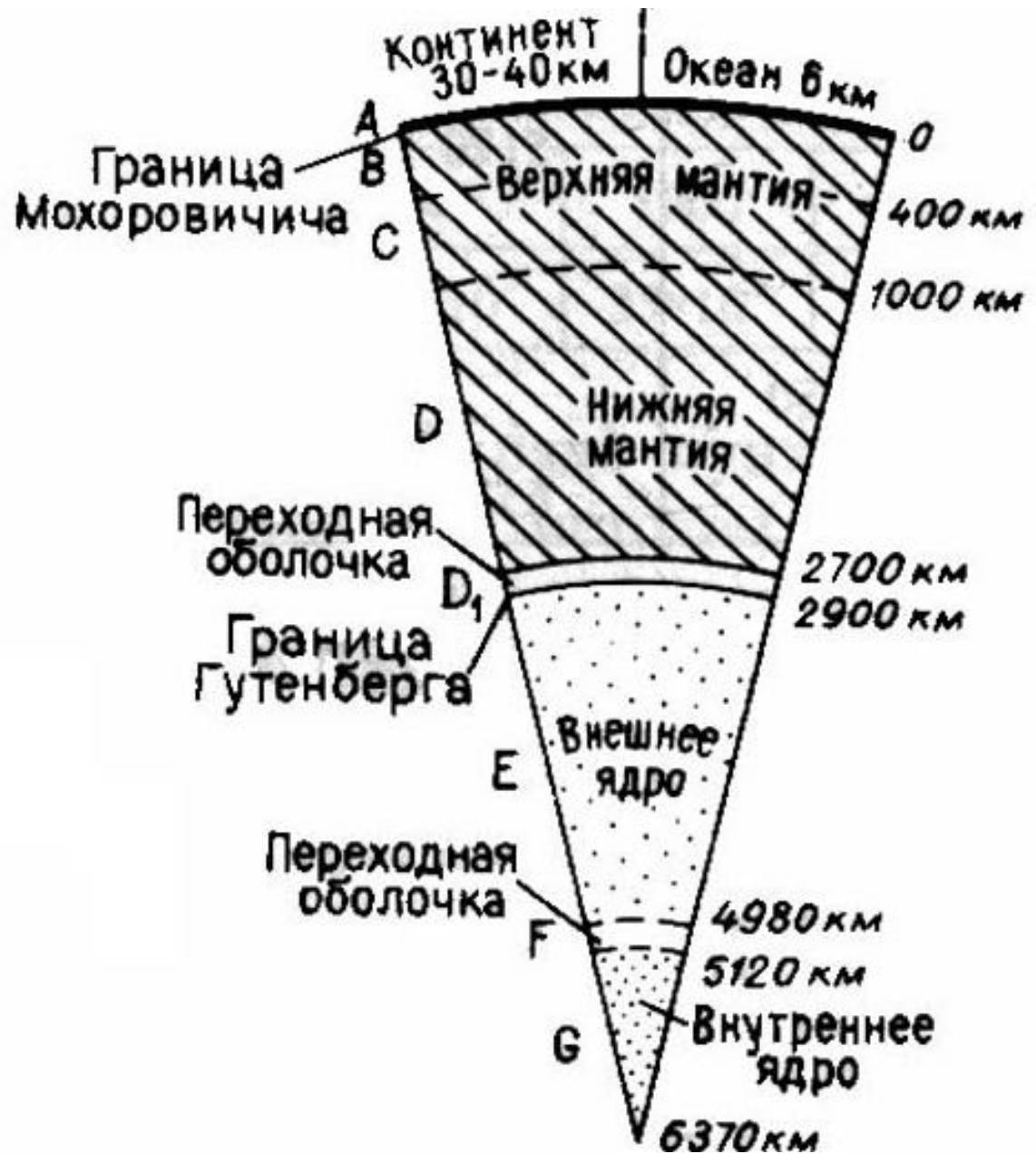
нижняя мантия

3. Ядро Земли:

внешнее ядро;

переходная оболочка;

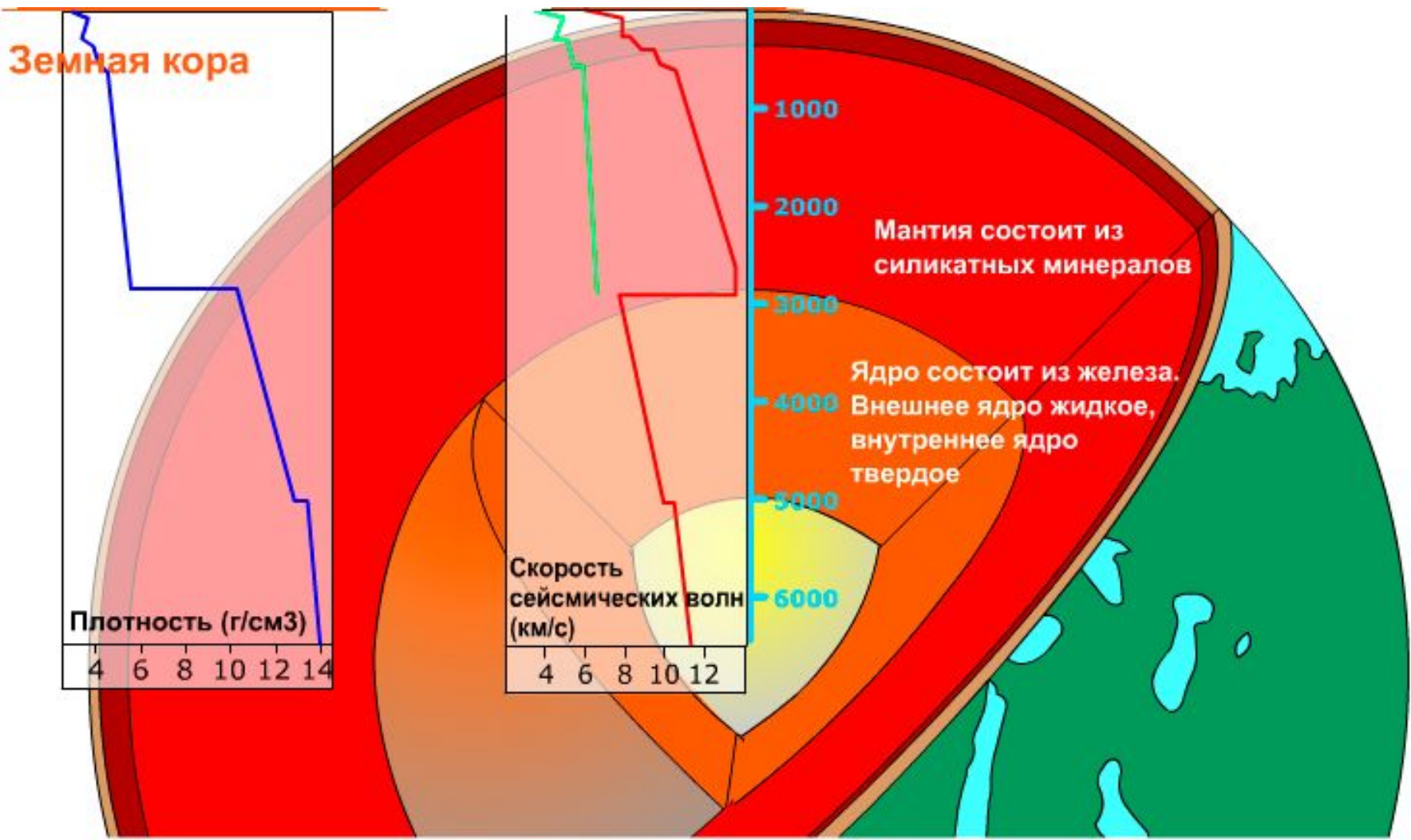
внутреннее ядро



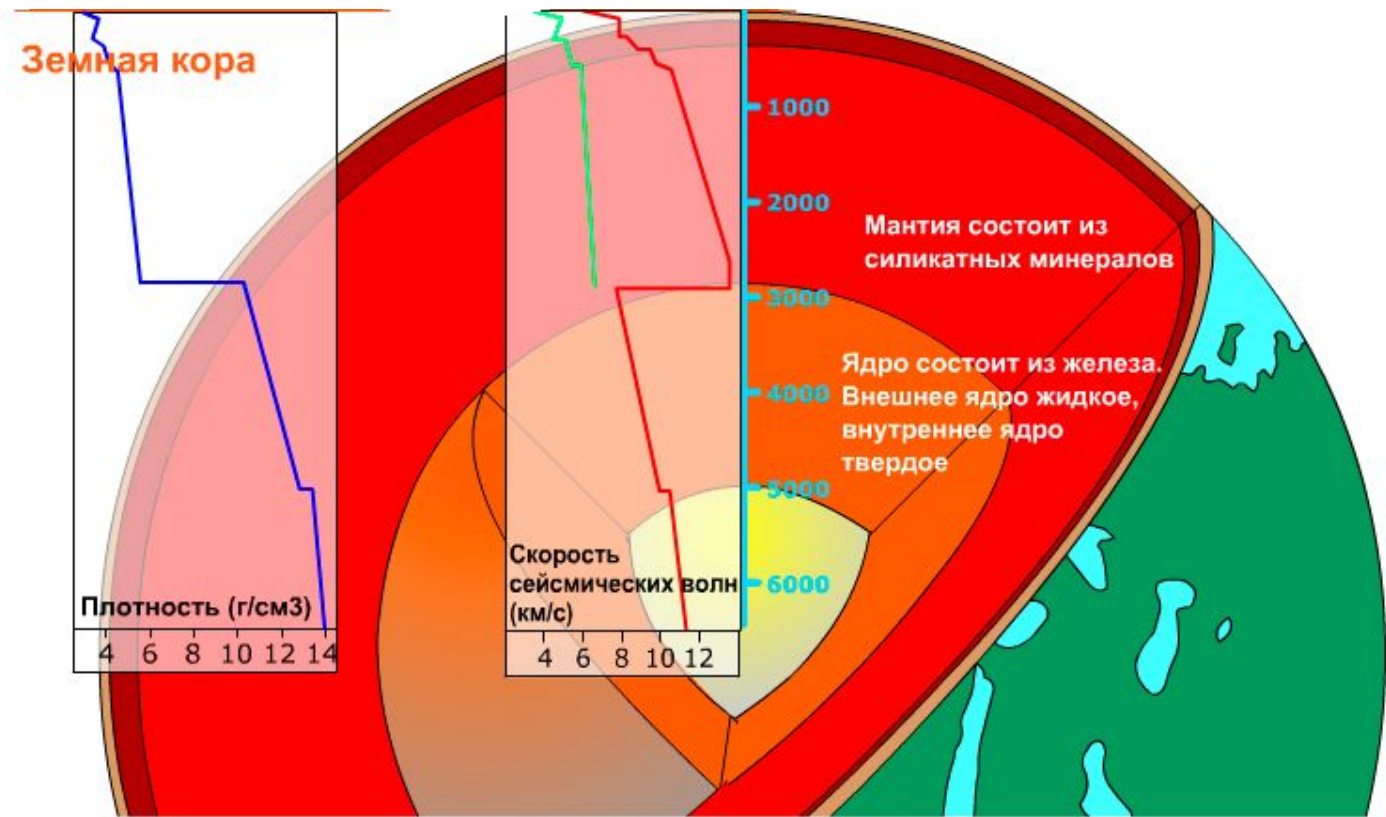
Данные о сейсмических разделах 1-го

порядка

Слои	Мощность, км	Глубина раздела, км	Объем %	Скорость сейсмических волн, км/с	
				P-волны	S-волны
Земная кора	5-40 (70)	Изменчива	1,5	6,5-7,0 (7,4)	3,7-3,8
				Раздел Мохоровичича	
				7,9-8,2	4,5-4,7
Мантия	2860		82,3	13,6	7,2-7,3
Граница ядра		2900		Раздел Гутенберга	
				8,1	нет
Внешнее ядро	2220		15,4	10,4	
		5120		Граница ядер	
				11,1	
Внутреннее ядро	1250		0,8		



В земной коре и в мантии скорость сейсмических волн увеличивается с увеличением плотности. На границе мантия – ядро S-волны затухают. Скорость P-волн уменьшается.



Средняя **плотность** Земли составляет $5,52 \text{ г/см}^3$. В осадочных породах земной коры около $2,4\text{-}2,5 \text{ г/см}^3$, в гранитах и большинстве метаморфических пород - $2,7\text{-}2,8 \text{ г/см}^3$, в основных магматических породах - $2,9\text{-}3,0 \text{ г/см}^3$. Средняя плотность земной коры принимается около $2,8 \text{ г/см}^3$.

В кровле верхней мантии, плотность пород $3,3\text{-}3,4 \text{ г/см}^3$, у нижней границы нижней мантии (глубина 2900 км) - примерно $5,5\text{-}5,7 \text{ г/см}^3$, ниже верхней границы внешнего ядра - $9,7\text{-}10,0 \text{ г/см}^3$, затем повышается до $11,0\text{-}11,5 \text{ г/см}^3$, увеличиваясь во внутреннем ядре до $12,5\text{-}13,0 \text{ г/см}^3$.

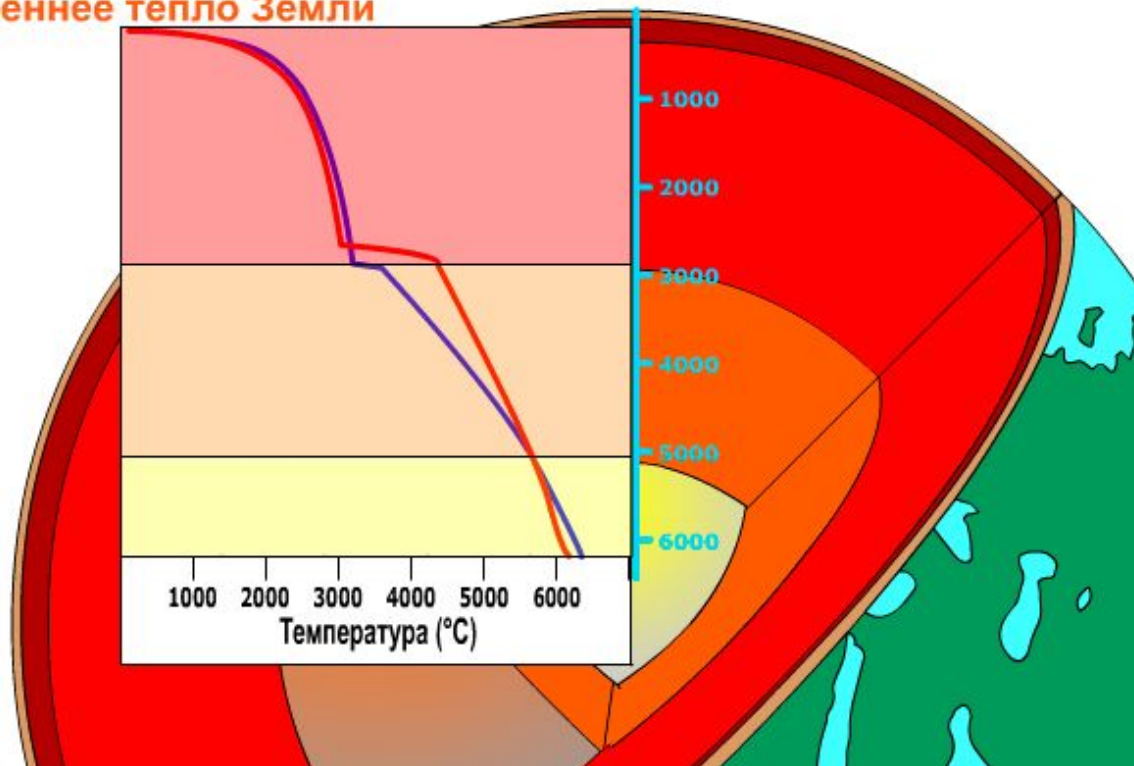
- **Тепловой режим Земли**
 - излучение Солнца
 - внутренние источники.
-
- На глубине от первых метров до 20-30 м располагается *пояс постоянной температуры*.

- **Источники тепла внутри Земли**
- *Радиоогенное тепло* - распад радиоактивных долгоживущих элементов ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb ..
- *Гравитационная дифференциация* вещества.
- *Приливное трение*.
- *Тепловой поток* измеряется в - мккал/см²·с.

- Температура в градусах Цельсия на единицу глубины называют *геотермическим градиентом*
- *геотермическая ступень.*
- изменчивость теплового потока в различных структурных зонах. Пределы колебаний отличаются более чем в 25 раз.
- Средний геотермический градиент около 30°C на 1 км.

- Следовательно, на глубине 100 км должна была бы быть температура 2000 или 3000 °С.
- Лава, имеет максимальную температуру 1200-1250°. Таким образом, на глубине 100 км температура не может превышать 1300-1500°C.
- геотермический градиент не постоянный, меняется с глубиной.

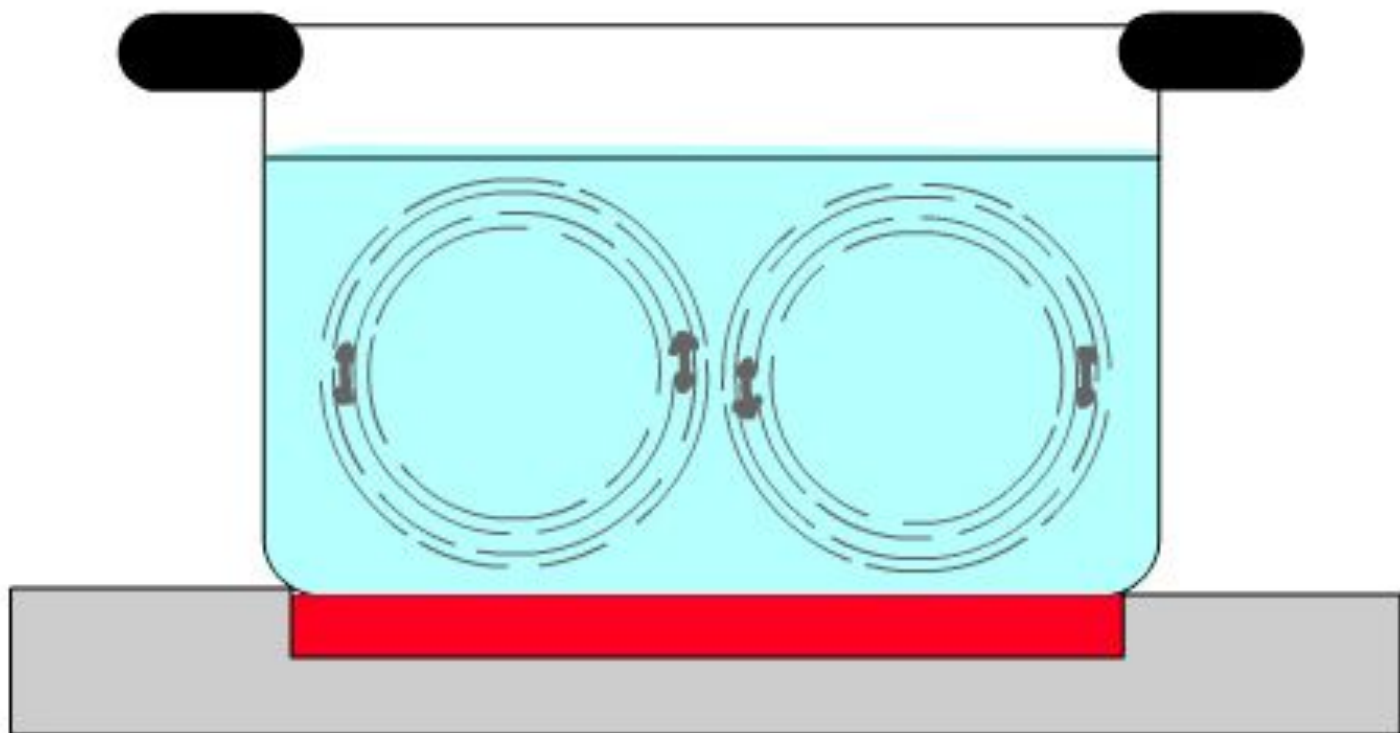
Внутреннее тепло Земли



Красная кривая – увеличение температуры с глубиной.

Синяя – изменение температуры плавления вещества с увеличением давления.

- Кривая в значительной мере гипотетична.
- Более или менее достоверные данные получены о температуре основания слоя **В** верхней мантии (400 км).
Исследования фазовой диаграммы Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 позволяют предполагать температуру около 1600°C .

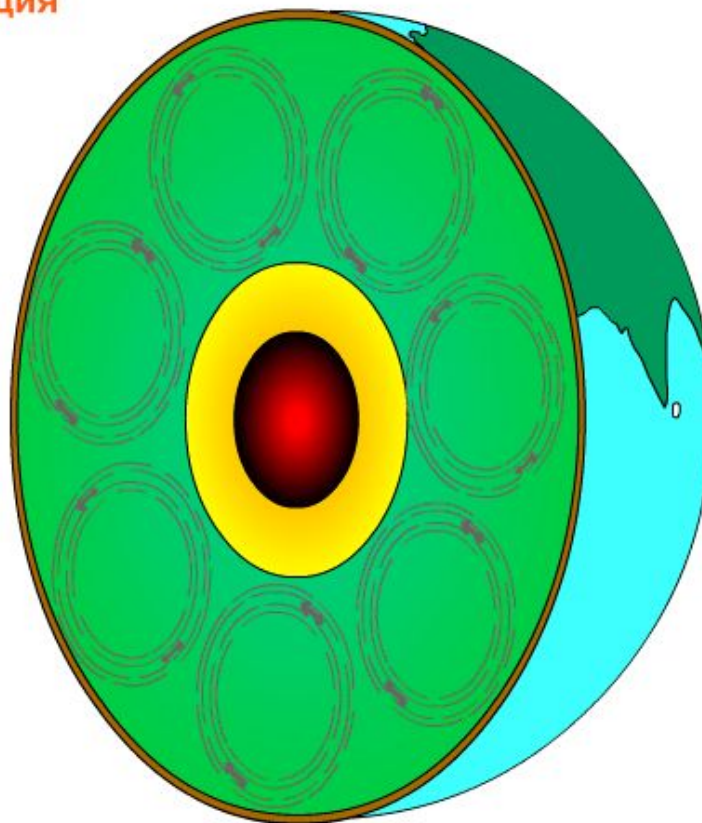


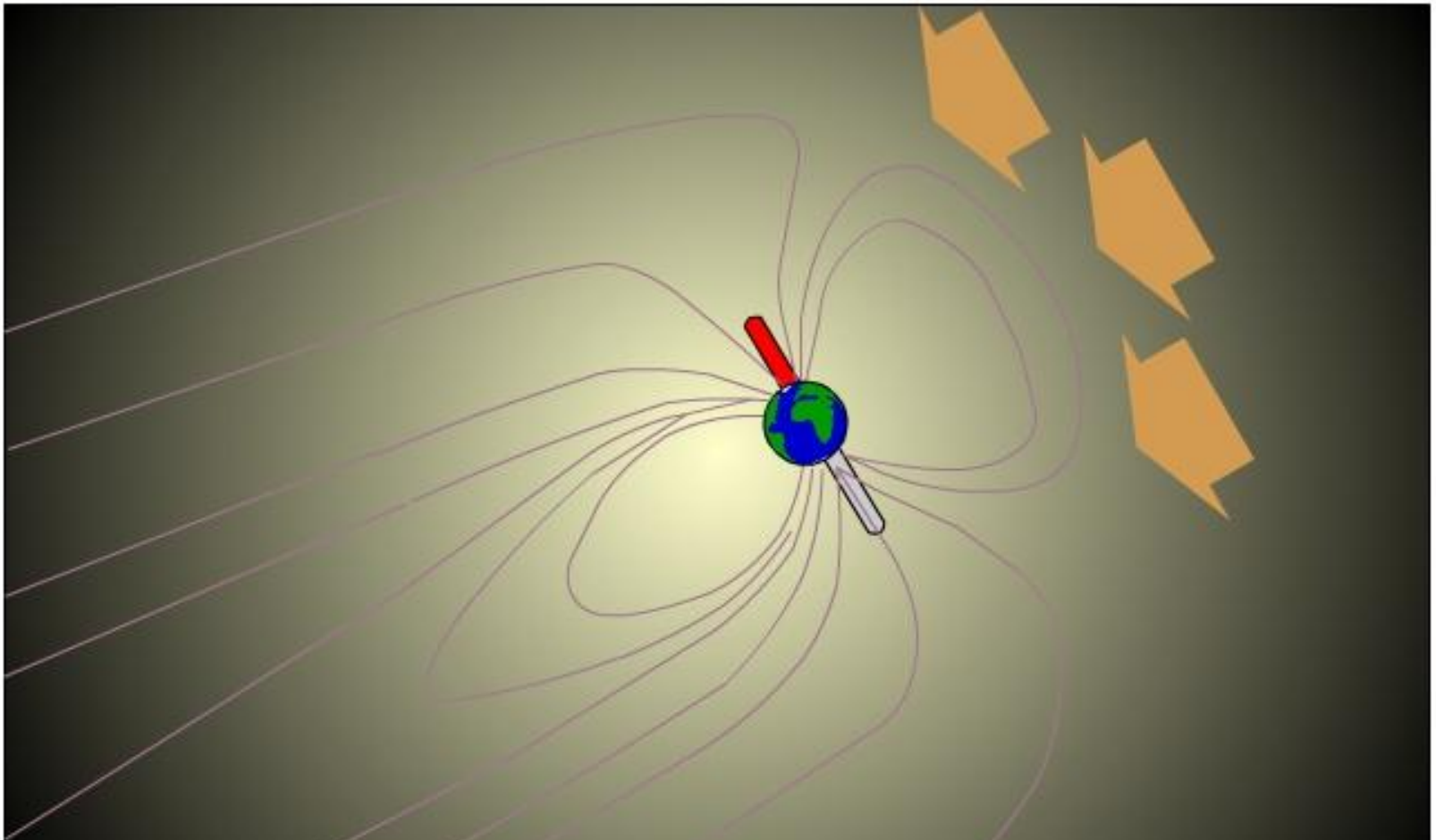
Тепловая конвекция. Нагретое вещество поднимается вверх и охлаждается, а холодное – опускается вниз.

Такой процесс идет в кастрюле с водой и продолжается до тех пор, пока температура на дне выше.

Перемещение вещества происходит по замкнутым траекториям. Они называются конвекционными ячейками

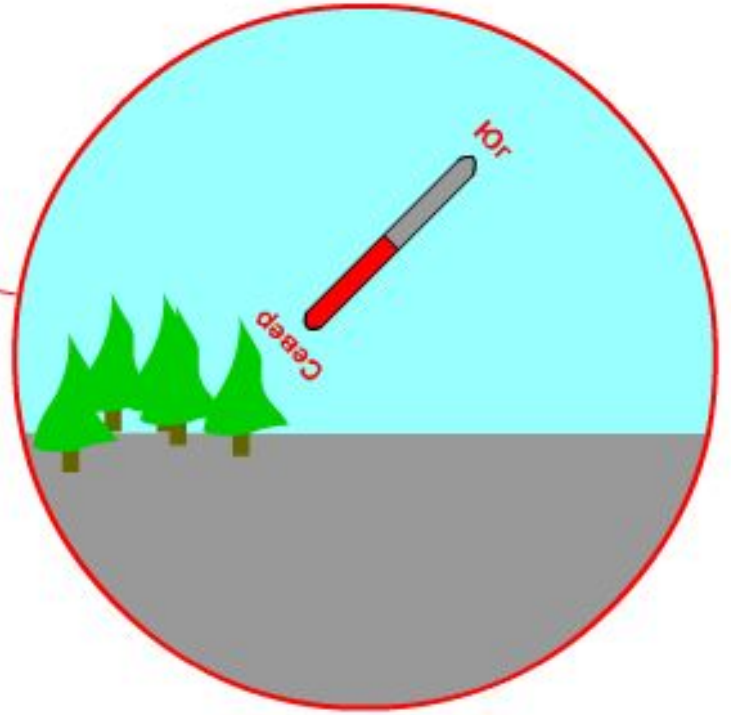
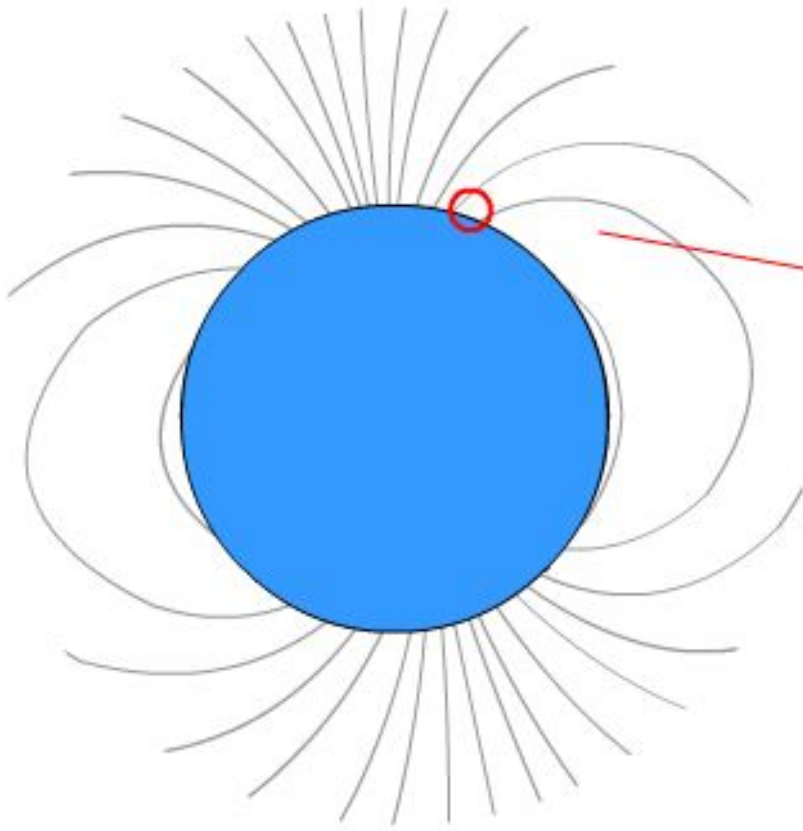
Мантийная конвекция

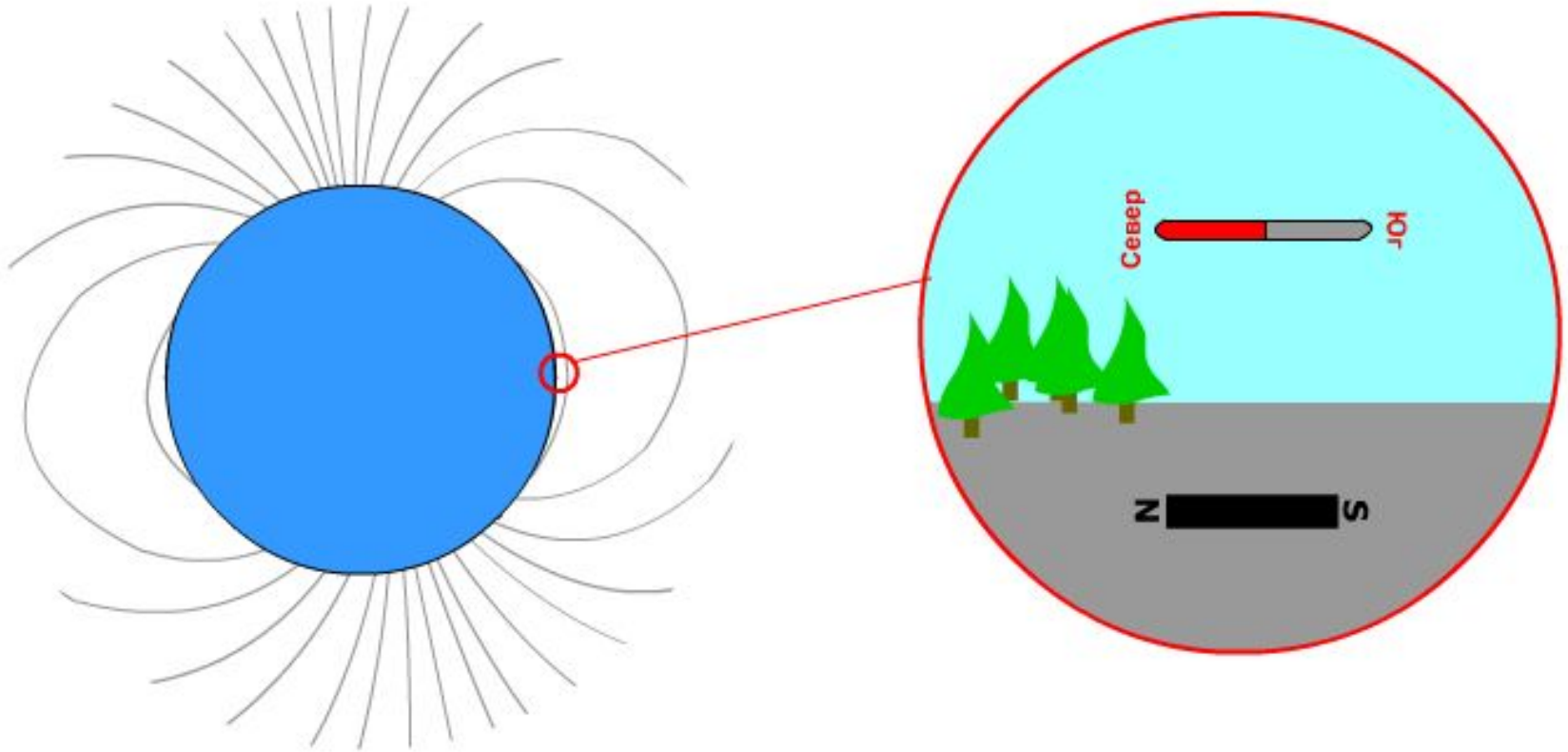




Магнетизм. Земля действует как гигантский магнит с силовым полем вокруг нее.

- Геоманнитное поле дипольное
- магнитные полюсы Земли не совпадают с географическими (магнитное склонение)
- Происхождение постоянного магнитного поля



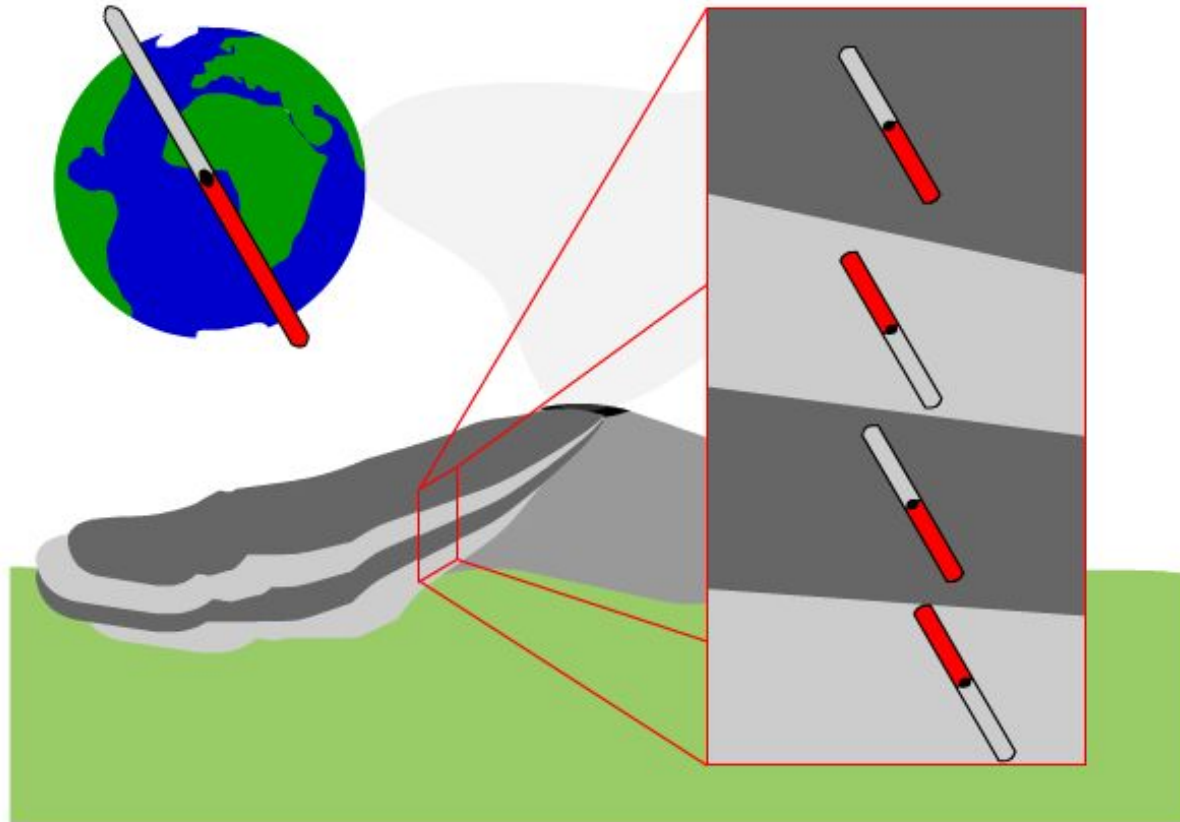


Магнитное поле Земли оказывает влияние и на ориентировку в горных породах ферромагнитных минералов (гематит, магнетит, и др).

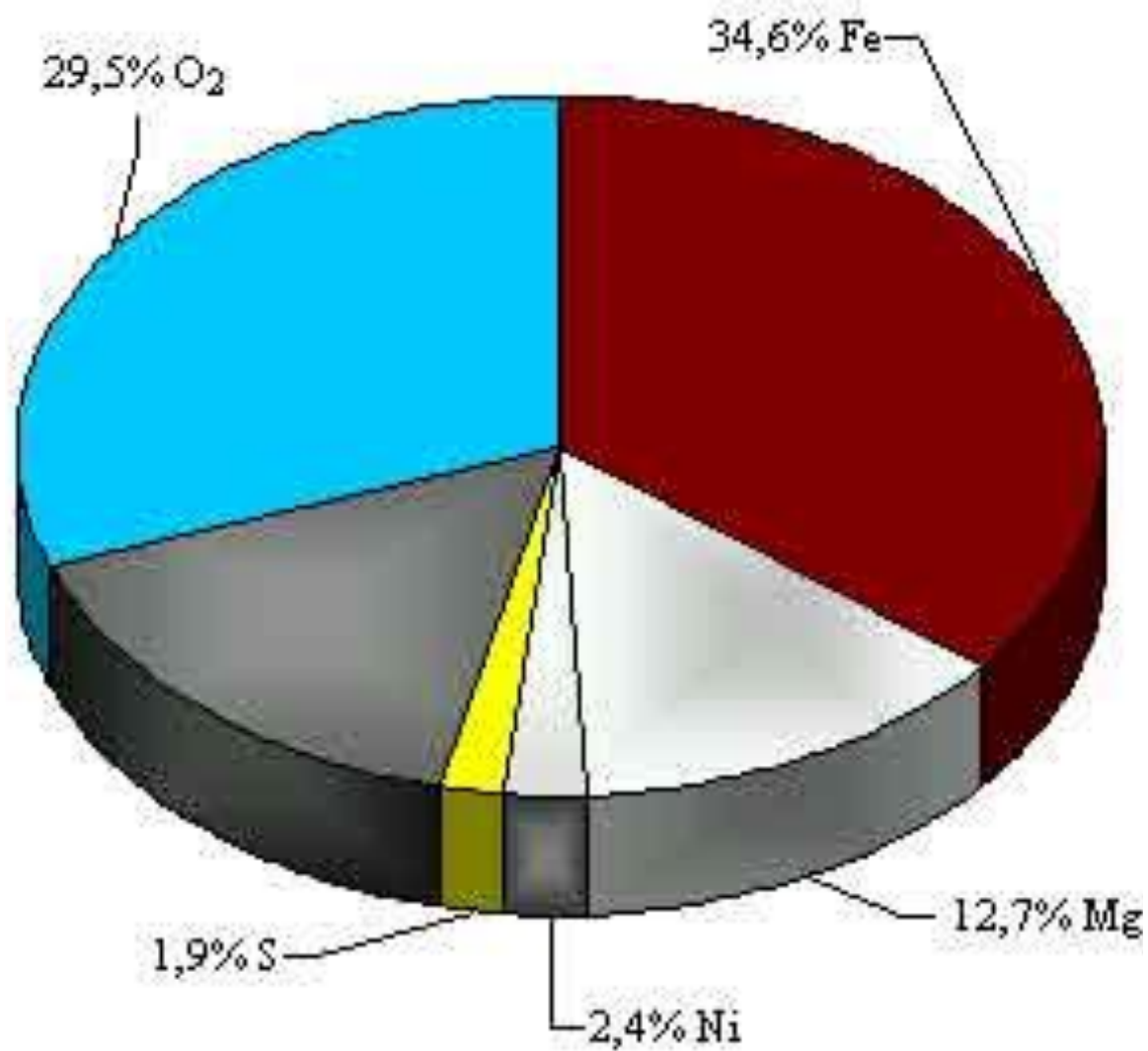
Когда горные породы полностью застывают, ориентировка ферромагнитных минералов сохраняется.

- Определенная ориентировка ферромагнитных минералов происходит и в осадочных породах.

Еще об инверсиях магнитного поля



- **Средний химический состав Земли.**
- Привлекаются данные о метеоритах, также экспериментальные геохимические и геофизические данные.
- По составу выделяют 3 типа метеоритов

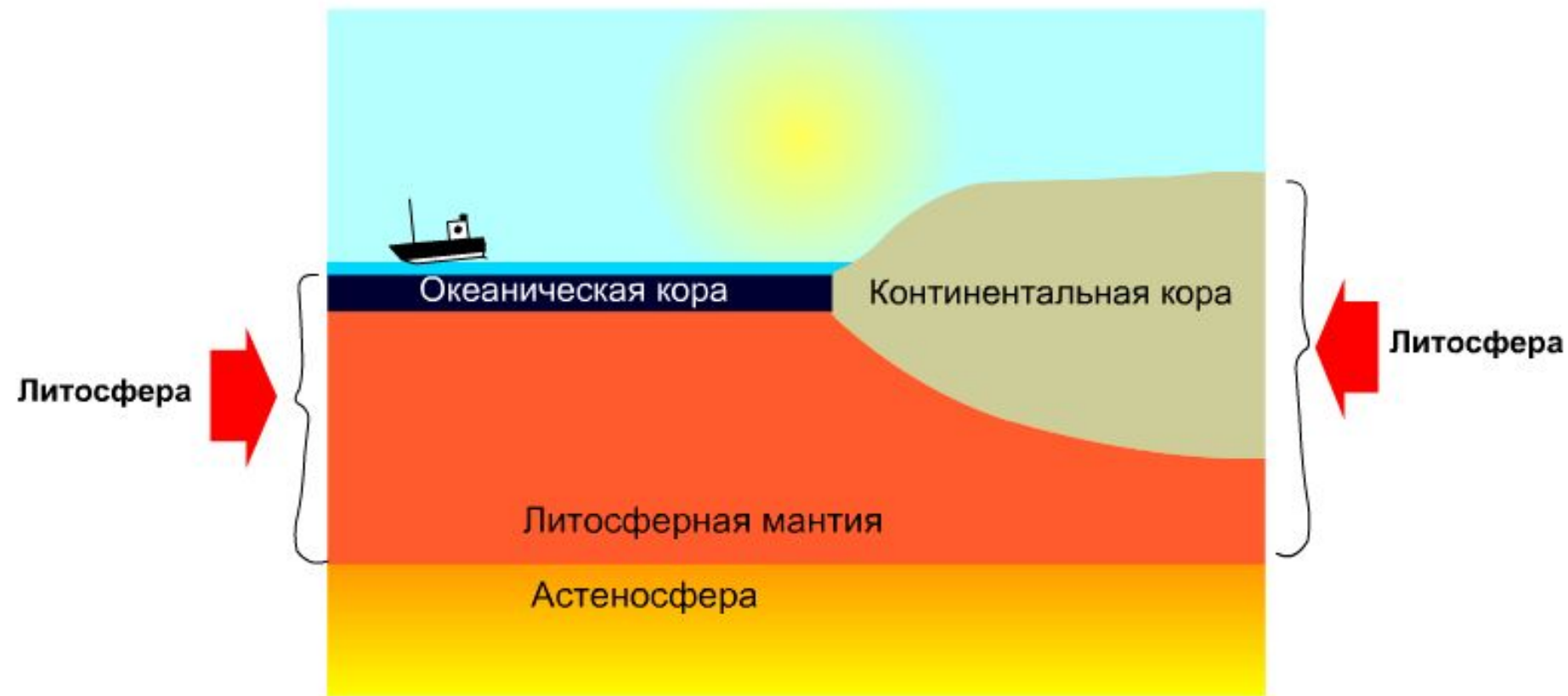


здесь не учитывается Si – порядка 14-15 %.

**СОСТАВ
И СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА
МАНТИИ И ЯДРА**

- Более или менее достоверные данные, хотя и косвенные, имеются лишь для верхней части мантии.
- 1) принимается, что слой **В** верхней мантии состоит главным образом из ультраосновных пород типа перидотитов с гранатом.

- Состояние вещества в слое **В** верхней мантии.



Ниже литосферы - слой, в котором наблюдается уменьшение скорости распространения сейсмических волн (особенно поперечных) – *астеносфера*

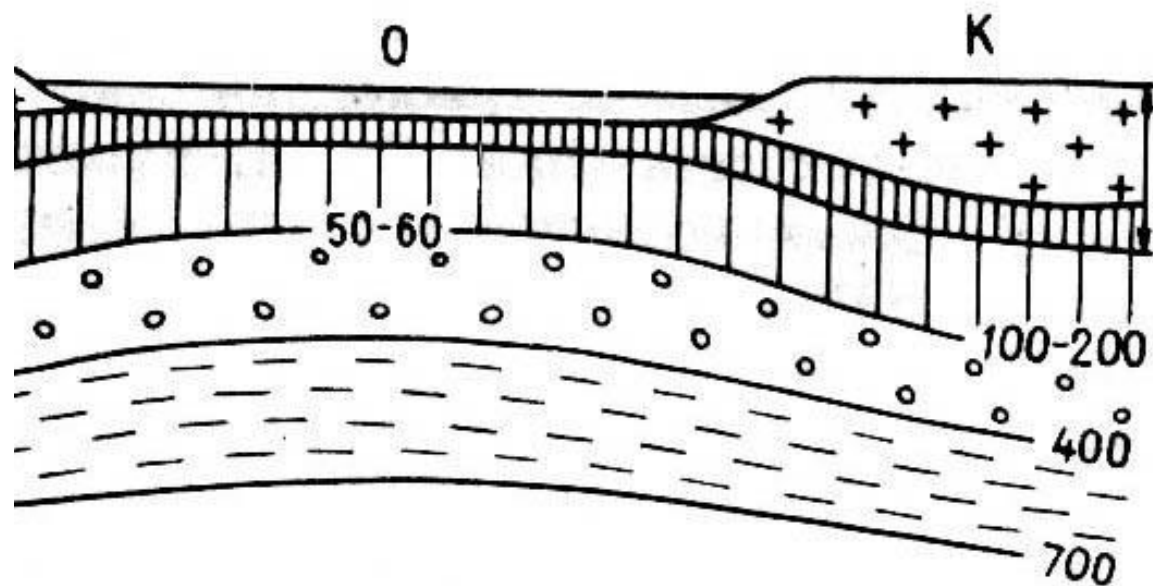
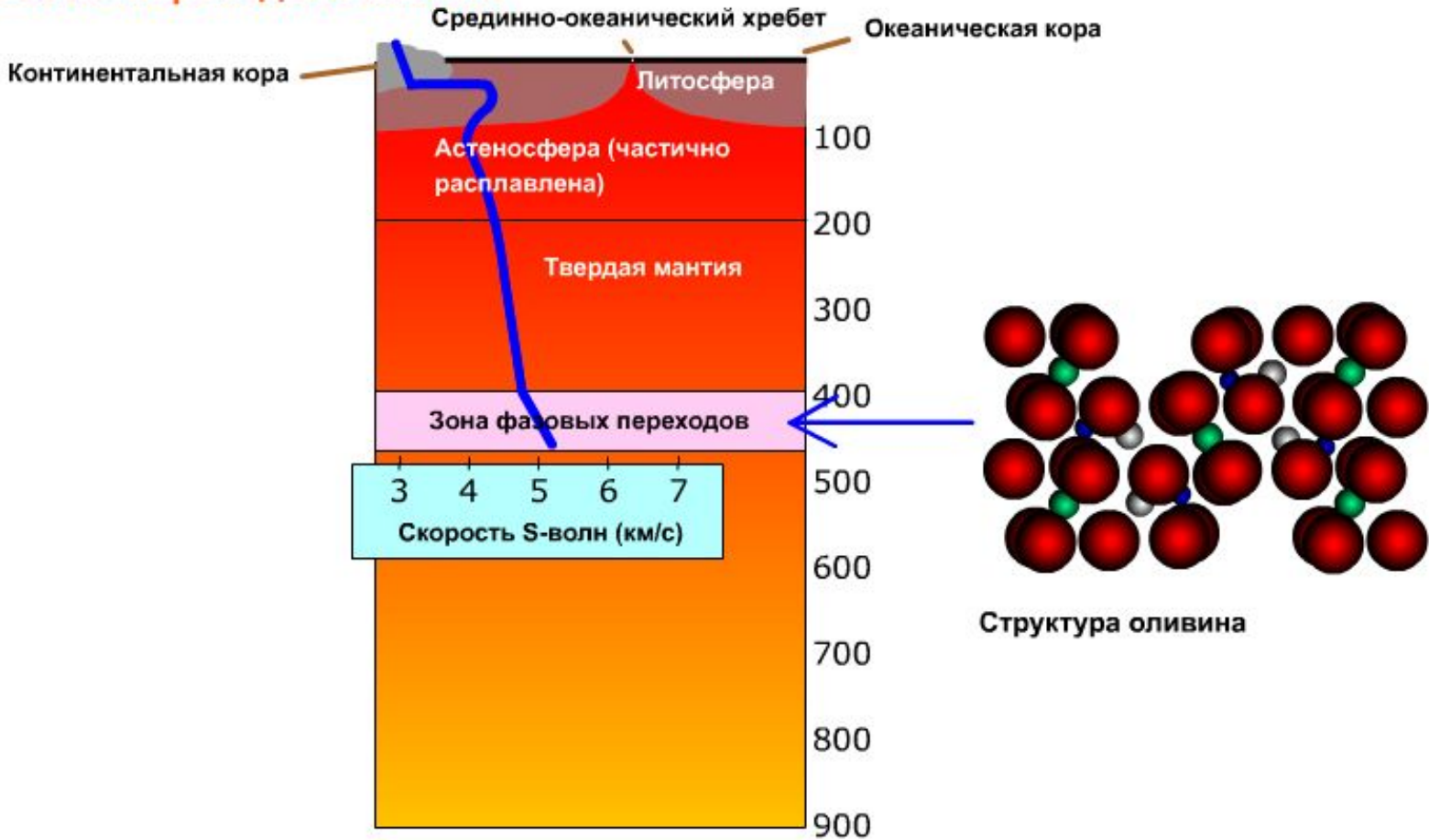


Рис. 3.4. Схема соотношения литосферы, астеносферы и тектоносферы
 I - литосферная кора; II - скоростной твердый слой верхней мантии (слоя В); III - литосфера; IV - подастеносферный слой верхней мантии (слой Голицына); V - тектоносфера; VI - тектоносфера; К - континент; О - океан

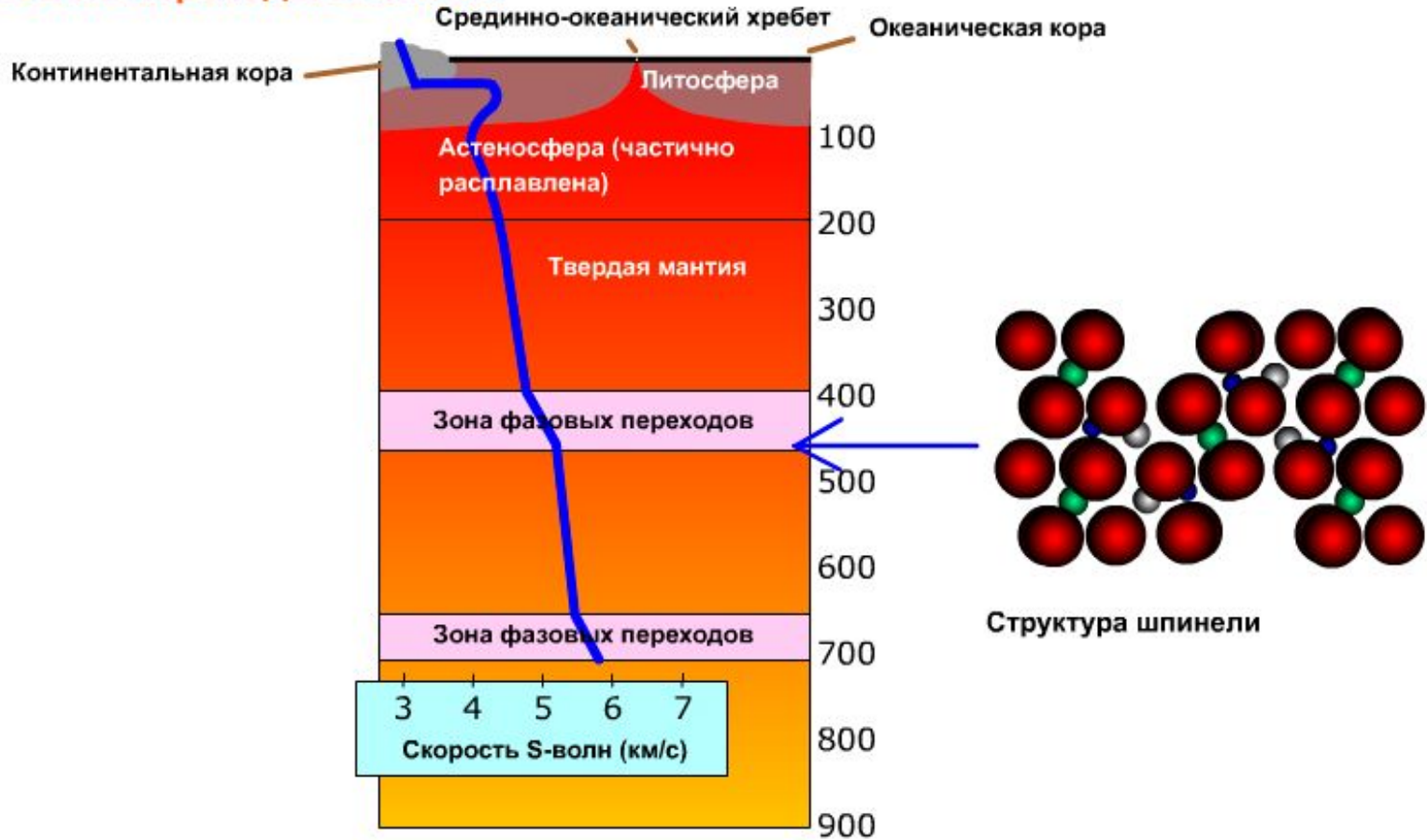
- **С чем связано снижение скорости сейсмических волн в астеносфере?**
- Глубина залегания астеносферного слоя неодинакова под океанами и континентами.



Наиболее распространенным минералом в мантии до глубины 400 км является оливин. дальше формируется более плотная структура – структура шпинели.

фазовый переход ведет к скачкообразному увеличению скорости волн.

Фазовые переходы в мантии

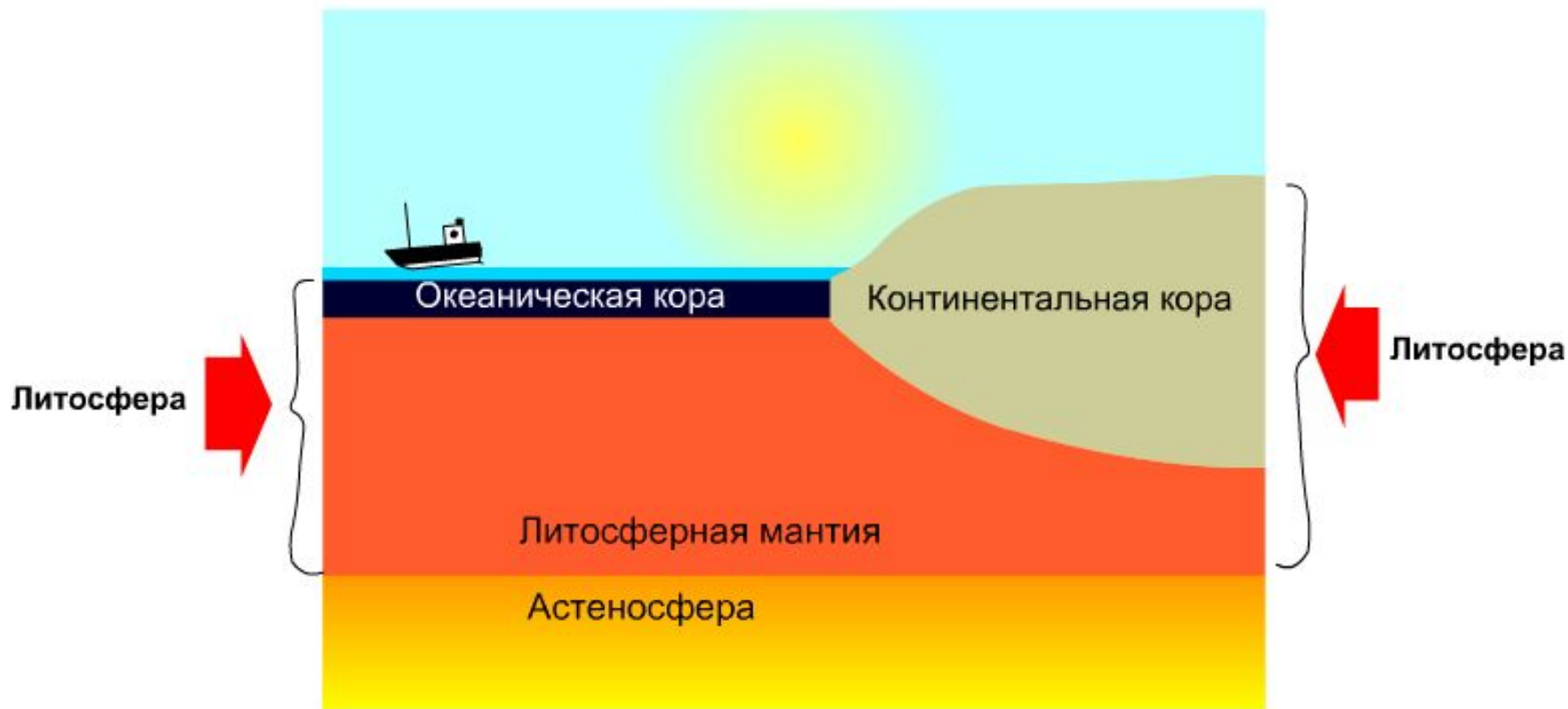


Другой фазовый переход происходит на глубине 660-700 км. структура шпинели сменяется структурой перовскита. Предполагается, что она существует до глубины 2900 км.

- **Ядро Земли.**
- падение скорости Р-волн с 13,6 км/с в основании мантии до 8,0-8,1 км/с во внешнем ядре, и затухание поперечных волн.
- Внутреннее ядро, по-видимому, находится в твердом состоянии
-
- считалось, что ядро сложено никелистым железом (метеориты).
- Плотность ядра на 10% ниже, чем у железоникелевого сплава.
- должны присутствовать и более легкие элементы, такие, как кремний или сера.

Земная кора

- Имеется 2 главных элемента рельефа – континенты и океаны.
- Они отличаются не только своими геоморфологическими характеристиками, но и строением земной коры.
- *1) континентальная и 2) океаническая*
- *3) субконтинентальная и 4) субокеанская.*



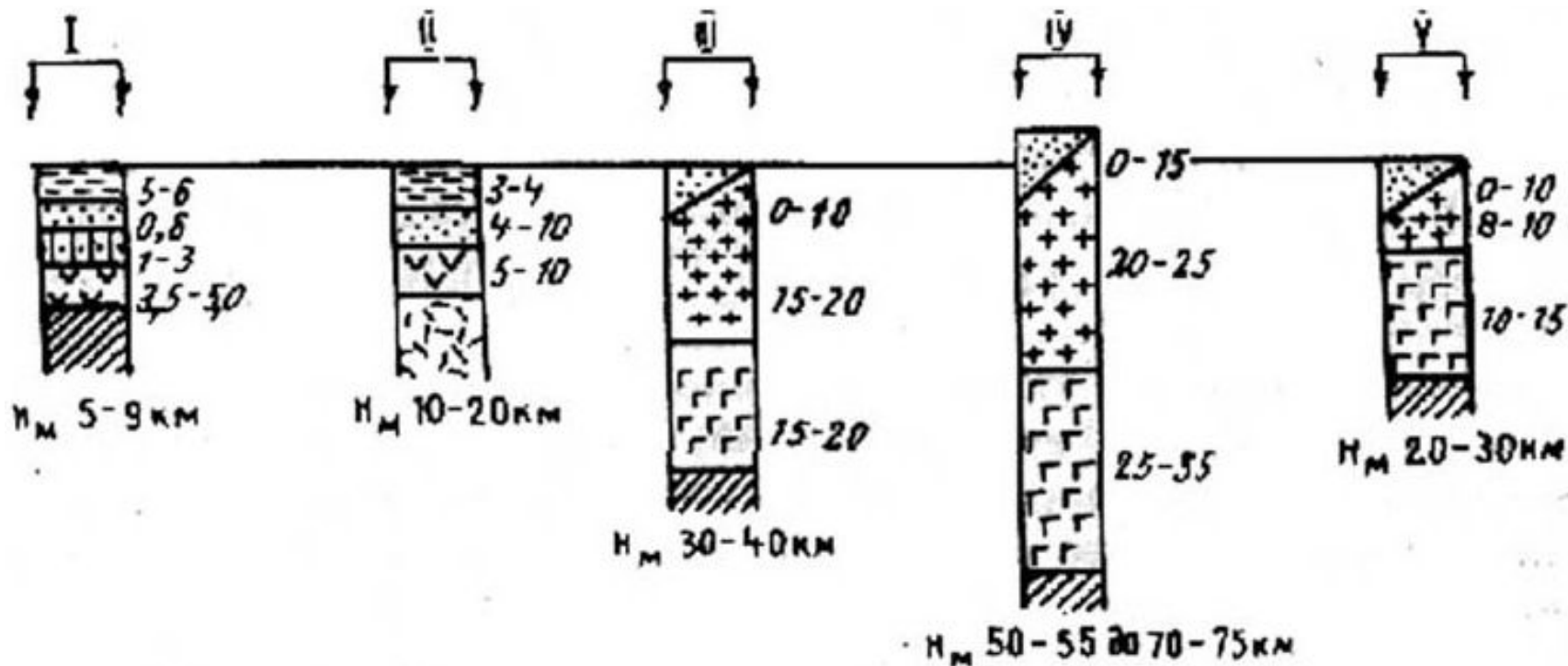
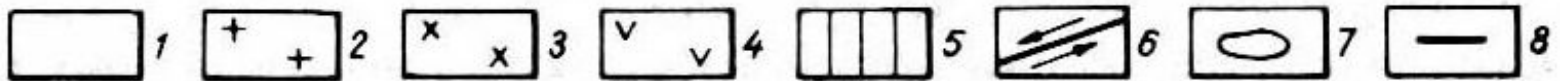
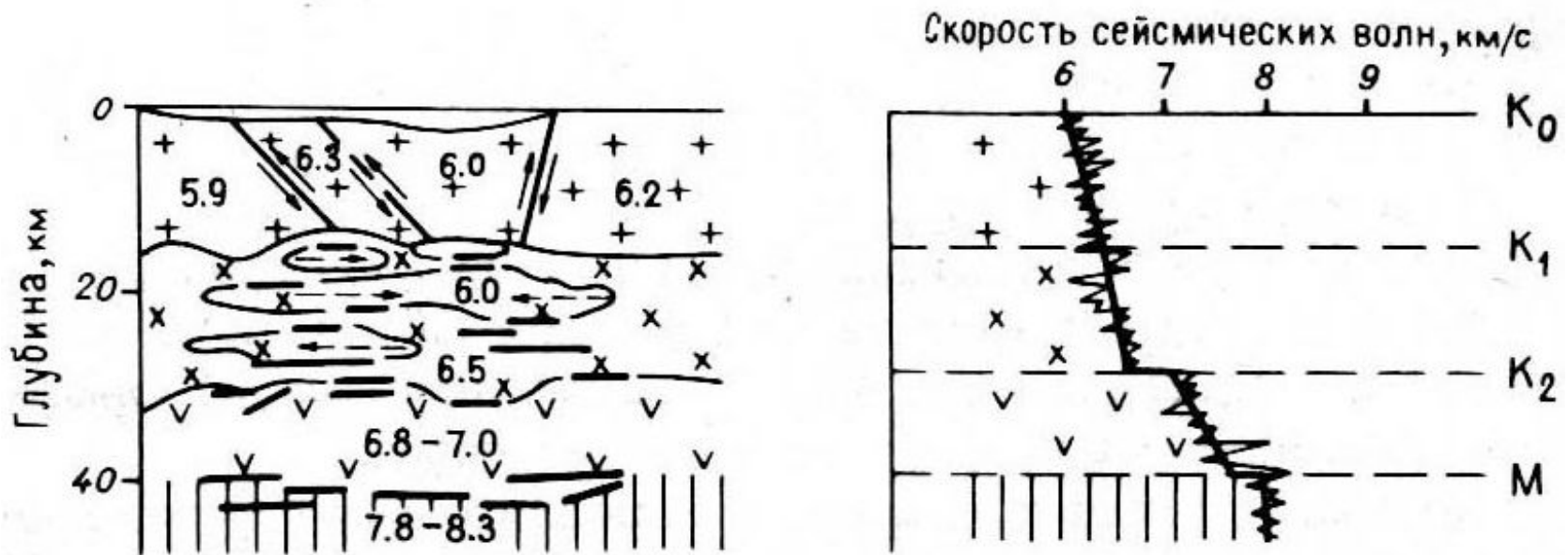


Схема строения различных типов земной коры
 I- океанская кора; II- субокеанская кора; III-
 континентальная кора платформ; IV-
 континентальная кора орогенных поясов; V-
 субконтинентальная кора (островные дуги);

- **Континентальный тип земной коры.**
- 35-40 (45) км в пределах платформ до 55-70 (75) км в молодых горных сооружениях.
- **Первый** слой представлен осадочными породами, мощностью от 0 до 5 (10) км в пределах платформ, до 15-20 км в тектонических прогибах горных сооружений.
 V_p меньше 5 км/с.
- **Второй** - "гранитный" слой на 50 % сложен гранитами, на 40% - гнейсами и другими метаморфизованными породами. Средняя мощность 15-20 км (иногда в горных сооружениях до 20- 25 км). V_p - 5,5-6,0 (6,4) км/с.
- **Третий** слой называется "базальтовым«. Вероятно, он сложен основными интрузивными породами типа габбро, а также метаморфическими породами амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма, не исключается наличие и ультраосновных пород. Правильнее называть этот слой *гранулитобазальтовым*. Мощность от 15-20 до 35 км. V_p 6,5-6,7 (7,4) км/с.

- ***Раздел Конрада.***
- Данные глубинного сейсмозондирования показали, что эта граница фиксируется лишь в отдельных местах.



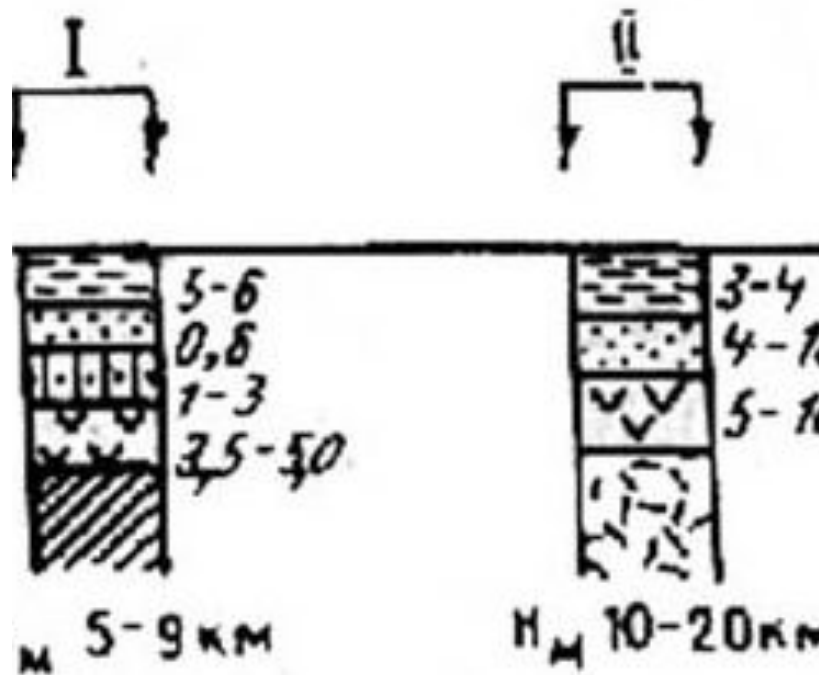
Четырехслойная модель строения континентальной земной коры

1. верхний осадочный слой с четкой скоростной границей, обозначенной K_0
2. кристаллический фундамент, или консолидированная кора

Верхний этаж ($K_0 - K_1$) с вертикально-слоистой структурой и дифференцированностью отдельных блоков по составу и физическим параметрам

Промежуточный этаж ($K_1 - K_2$) с тонкой горизонтальной расслоенностью и наличием отдельных пластин с пониженной V_p - 6 км/с (при общей скорости в слое 6,4-6,7 км/с) и аномальной плотностью. Здесь возможны горизонтальные подвижки вещества

Нижний этаж



Океанская кора имеет трехслойное строение при мощности от 5 до 9(12) км.

1. **Верхний** (первый) слой - осадочный, состоит преимущественно из рыхлых осадков. Мощность от нескольких сот метров до 1 км. V_p 2,0-2,5 км/с.

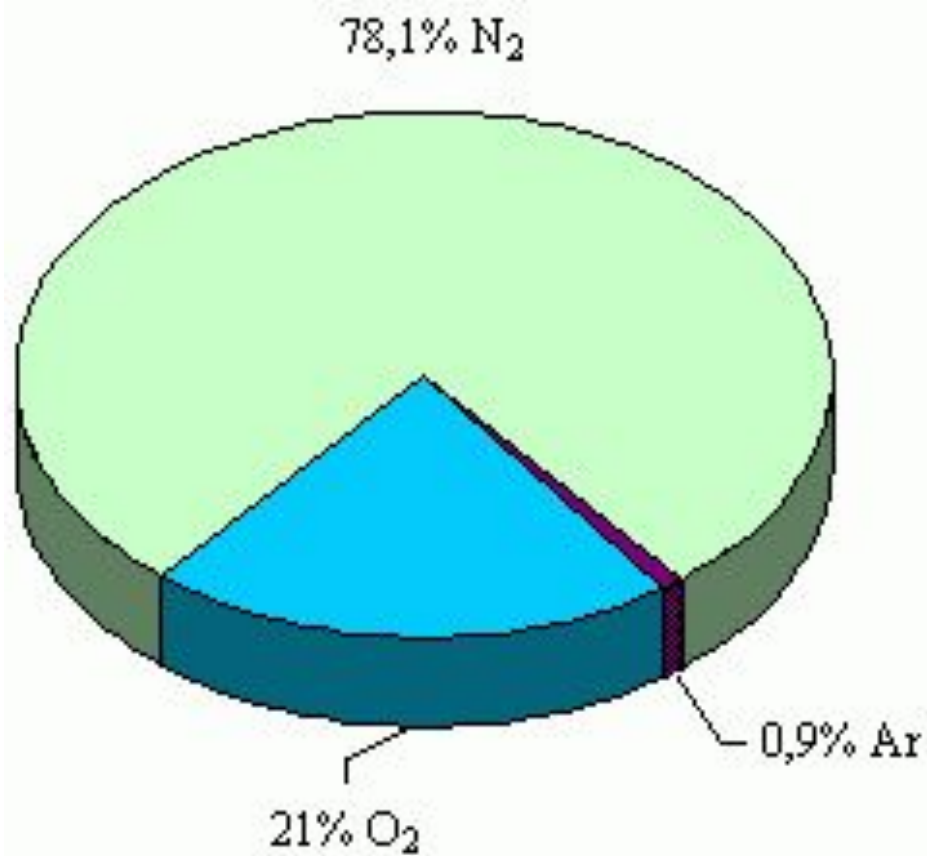
2. **Второй** слой сложен преимущественно базальтами с прослоями карбонатных и кремнистых пород. Мощность от 1,0-1,5 до 2,5-3,0 км. V_p 3,5-4,5 (5) км/с.

3. **Третий** высокоскоростной слой бурением еще не вскрыт. По данным драгирования он сложен основными магматическими породами типа габбро с подчиненными ультраосновными породами (серпентинитами,

- **Субконтинентальный тип**
- по строению аналогичен континентальному, но стал выделяться в связи с нечетко выраженной границей Конрада.
- Обычно связывается с островными дугами и окраинами материков.

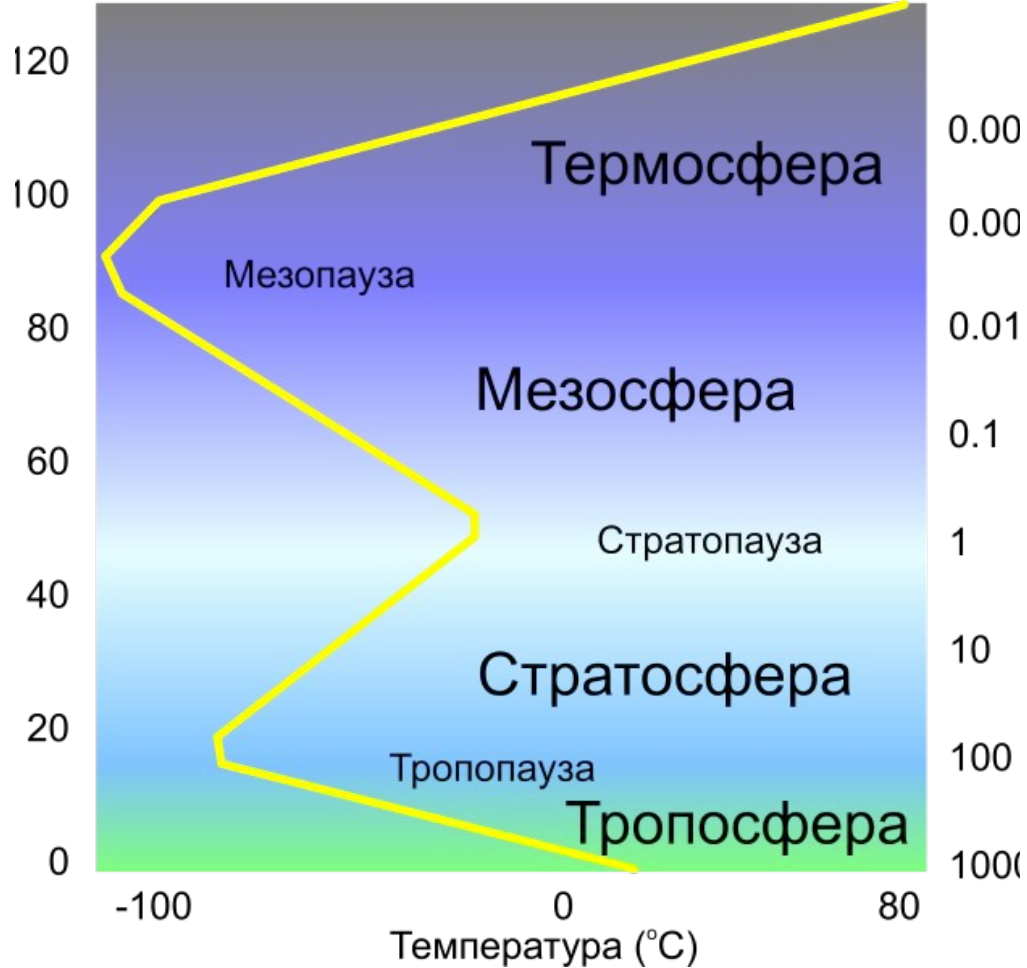
- **Субокеанский тип** приурочен к котловинным частям окраинных и внутриконтинентальных морей.
- От океанского отличается повышенной мощностью (4-10 и больше км) осадочного слоя, располагающегося на третьем океанском слое. Суммарная мощность 10-20 км, местами до 25(30) км.
- Промежуточные типы лучше рассматривать в генетическом плане, называя субконтинентальную кору переходной (в смысле развития) от океанской к континентальной, а субокеанскую - от континентальной к океанской.

ВНЕШНИЕ ОБОЛОЧКИ



Атмосферы есть у многих планет Солнечной системы, но азотно-кислородный состав земной атмосферы уникален. На ранних стадиях развития Земли атмосфера состояла из паров воды, водорода, азота, метана и аммиака. В ее составе было много углерода, серы, хлора.

- компоненты атмосферы
 - *водяной пар.*
 - *Твердые частицы.*
 - *биологическая пыль.*
 - *Космическая пыль.*
-
- 70 % солнечного излучения отражается атмосферой и земной поверхностью, 30 % рассеивается в атмосфере и поглощается земной поверхностью.

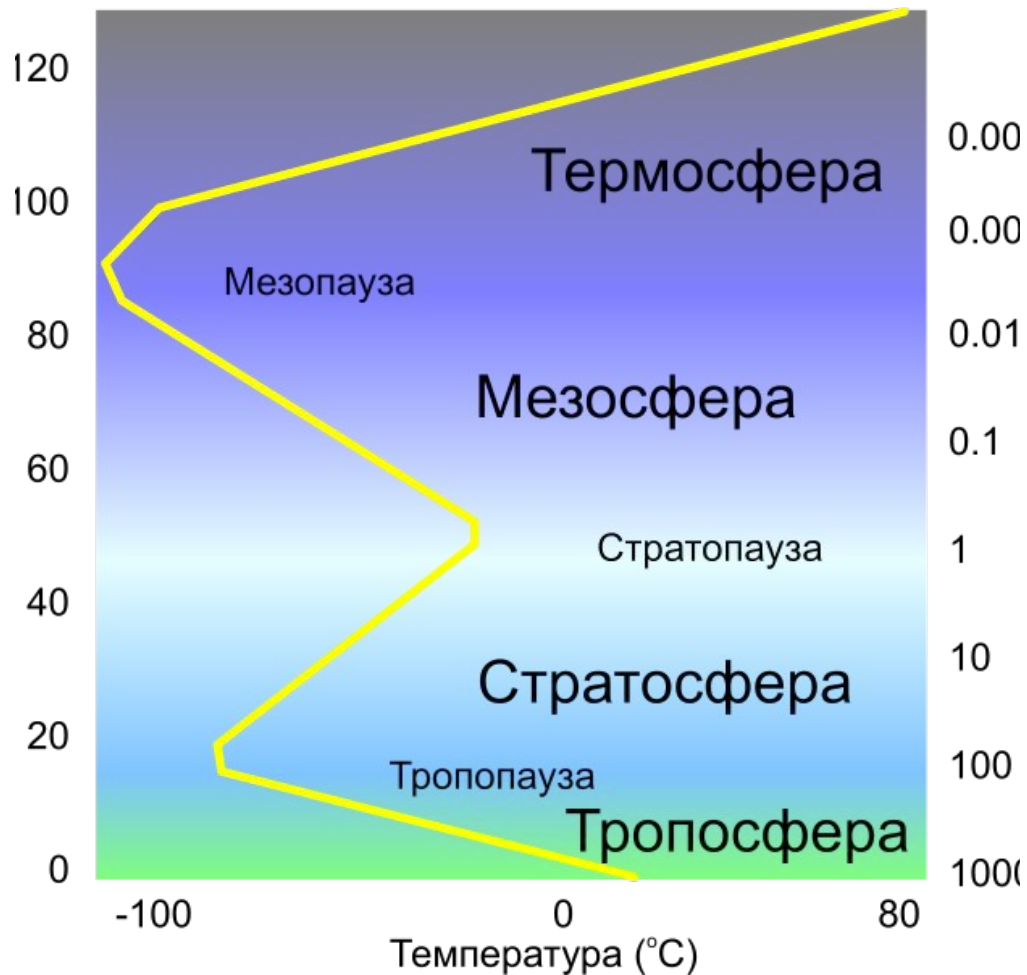


Тропосфера. Около 80 % атмосферного воздуха. Толщина меняется от 8-10 км в приполярных районах до 17-18 км у экватора.

С высотой температура вначале быстро, а потом, замедляясь, падает.

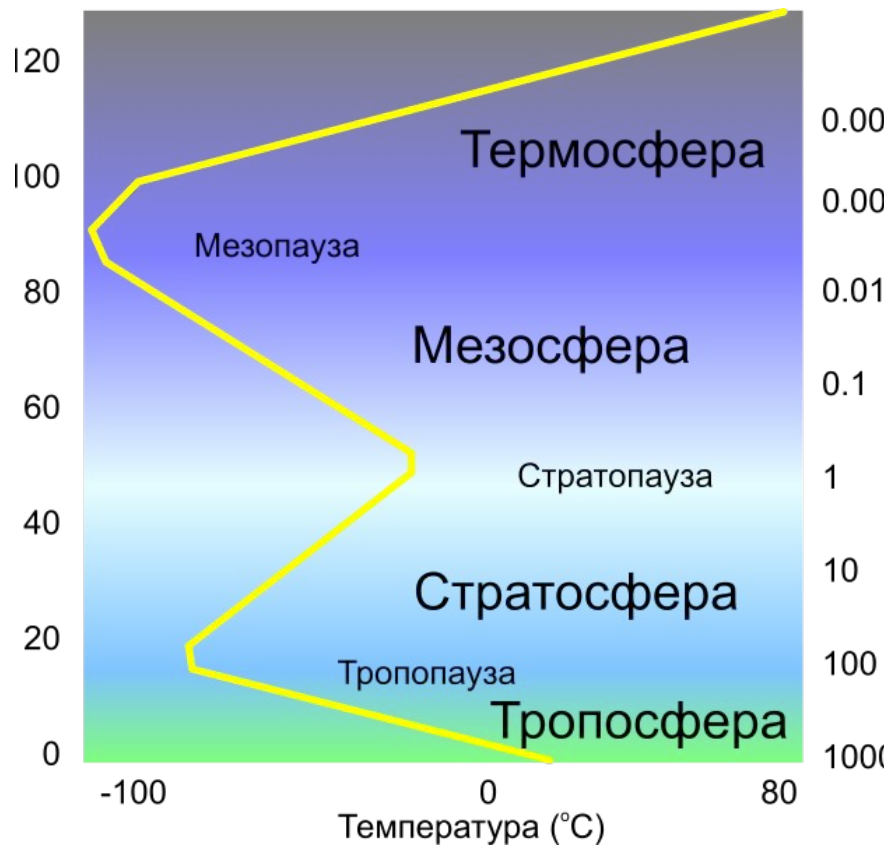
Тропопауза – переходный слой, слой минимальных постоянных температур.

Эти два слоя называют плотными слоями атмосферы. Насыщенная водой и углекислым газом тропосфера удерживает до 45 % солнечного тепла.



Стратосфера (до 55 км) и стратопауза. **Озоновый** слой (в интервале от 20 до 30 км). Максимальный над экватором, а над полюсами сокращается.

От верхней границы тропопаузы до верхней границы стратосферы температура воздуха возрастает от -70°C до 0°C . Слой максимально высоких температур называется стратопаузой.



Мезосфера простирается до 80—90 км. Температура воздуха понижается до $-88\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Термосфера (ионосфера) состоит из сильно разреженных легких ионизированных газов и простирается до 800 км. Происходит рассеивание газов в космическое пространство, несмотря на то, что на ионизированные, электропроводящие газы, сильный удерживающий эффект оказывает магнитосфера. Температура воздуха в термосфере быстро и неуклонно возрастает и достигает нескольких сотен градусов.

- **Гидросфера**
- Вода в Мировом океане (почти 94 %), в материковых льдах (почти 1,6 %), пресные воды суши (0,07 %). Около 4,5 % в виде грунтовых и поровых вод.
- Значительные объемы воды связаны в гидросиликатах земной коры.

В океане растворены практически все элементы таблицы Менделеева. Главные катионы Na, Mg, Ca, K; анионы – Cl, SO₄, HCO₃, CO₃, Br, F.

- В воде растворены также некоторые газы. В океане CO₂ почти в 60 раз больше чем в атмосфере.
-
- Механизм образования гидросферы
- Водные растворы при этом сохраняют первичное содержание Cl и Br.

- **Биосфера** охватывает тропосферу, гидросферу и верхнюю часть литосферы. **В основном** она представлена аэробными организмами..
- Более 90 % химических элементов, необходимых для строительства клеток, живые организмы извлекают из различных растворов, потребляя при этом солнечную энергию (**фотосинтез**).
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$$
 Основу составляют Н, О, С, N
- Живое вещество является концентратором углерода в виде углеводородных соединений и углекислоты.
- Часть углеводов консервируется в осадочных породах, другая (большая) часть, разлагаясь, поглощает О и освобождает С.
- Разложение органического вещества и фотосинтез в первом приближении находятся в динамическом равновесии, хотя в истории Земли за счет вовлечения в оборот элементов неживой природы, количество кислорода и углерода значительно возросло.
- За счет кислорода биосферы образовался озоновый слой, создавший условия для жизни на Земле.