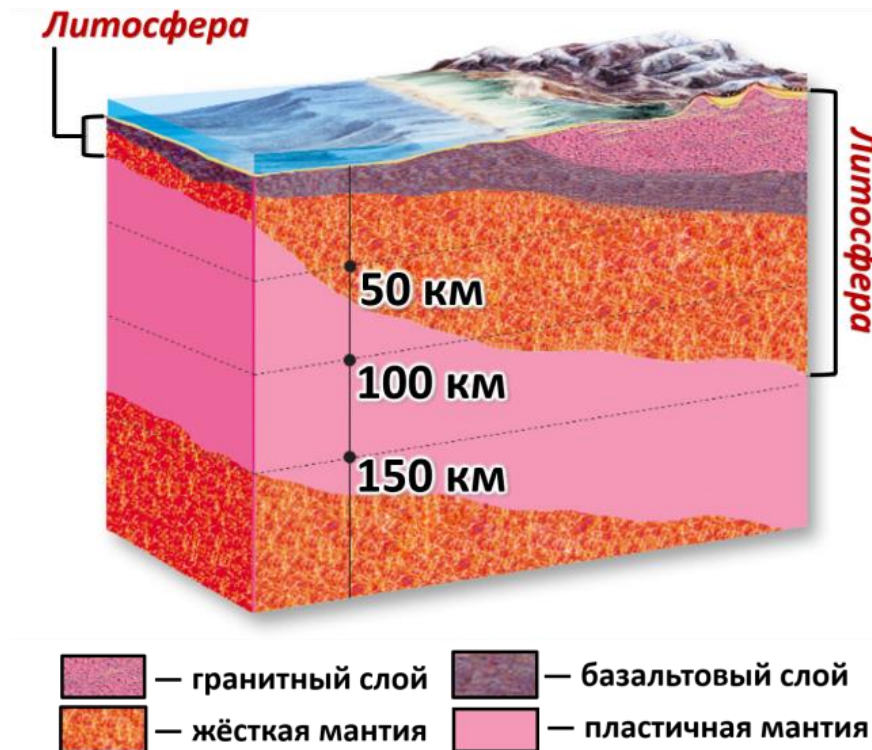


ЛЕКЦИЯ 4 ЛИТОСФЕРА И ЕЕ СТРОЕНИЕ

1 Оболочечное строение Земли

2 Литосфера – составная часть географической оболочки

3 Геохронология. Основные эпохи горообразования в истории Земли



1 Оболочечное строение Земли

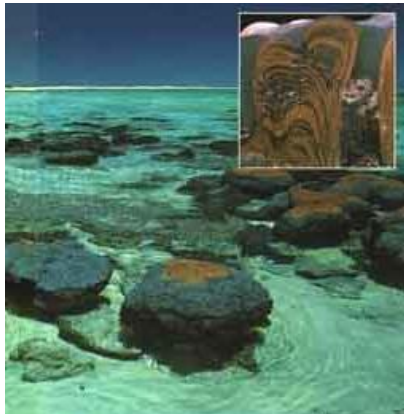
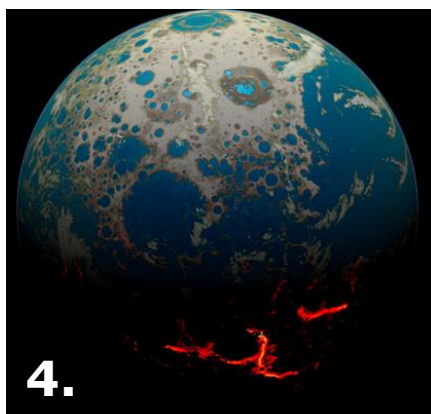
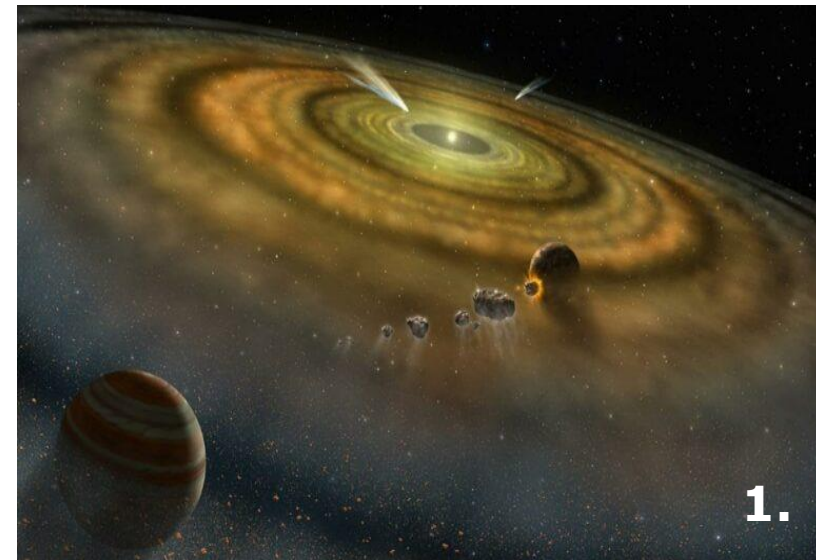
1. Около 4,6 млрд лет. Стадия первоначального сгустка материи в материнском пылегазовом облаке (образование планетезималей).

2. Около 4–3,8 млрд лет. Стадия небольшой планеты (сравнимой по объему с нынешним Меркурием), уже способной удерживать вокруг себя постоянную газовую оболочку. Выделение зародыша ядра. Зачатки тектонической деятельности. Появление первых рифтовых трещин, магматические излияния, дегазация мантии. Выделение с изверженными породами газов H_2O , CO_2 , NH_4 и включение их в состав первичной атмосферы, конденсация гидросферы.

3. Около 3,8–3,5 млрд лет. Земля достигает современных размеров. Ее внешняя каменная оболочка – базальт. Накопление неживого органического вещества и развитие его в сторону образования высокомолекулярных соединений.

4. Около 3,5–3 млрд лет. Появление доклеточных форм жизни. Организмы только гетеротрофные.

5. Около 3 млрд лет. Появление одноклеточных организмов и возникновение автотрофных живых существ. Обогащение атмосферы свободным кислородом и азотом за счет жизнедеятельности микроорганизмов.



Радиоизотопные методы определения возраста

Калий-аргоновый метод

Калий состоит из трех изотопов – ^{39}K , ^{40}K и ^{41}K , из которых только ^{40}K обладает естественной радиоактивностью. Немецкий физик **К. Ф. Вейцеккер (1937 г.)** установил, что ^{40}K претерпевает двойной распад — в ^{40}Ar и ^{40}Ca

В ^{40}Ca путем β --распада переходит 89,05% ядер ^{40}K , а в ^{40}Ar посредством К-захвата — 10,95%.

Двойной распад ^{40}K позволяет определять возраст К-содержащих минералов и пород по двум геохронометрам.

Распад ^{40}K в ^{40}Ca широкого применения в геохронологии не получил, так как природный кальций, содержащийся во многих породах и минералах, имеет то же массовое число, что и радиогенный ^{40}Ca , и отличить их очень трудно.

Наиболее надежной оказалась К-Ar-ветвь распада. Учитывая идеальную длительность периода полураспада ^{40}K — 1250 млн лет и широкое распространение К-содержащих минералов в природе, **этот метод оказался пригодным для определения возраста во всех интервалах геологического времени** — от архея до антропогена и почти для всех типов горных пород — осадочных, магматических и метаморфических.



Карл Фридрих фон Вайцзеккер (1912-2007)



"Родительский" изотоп



"Дочерний" изотоп



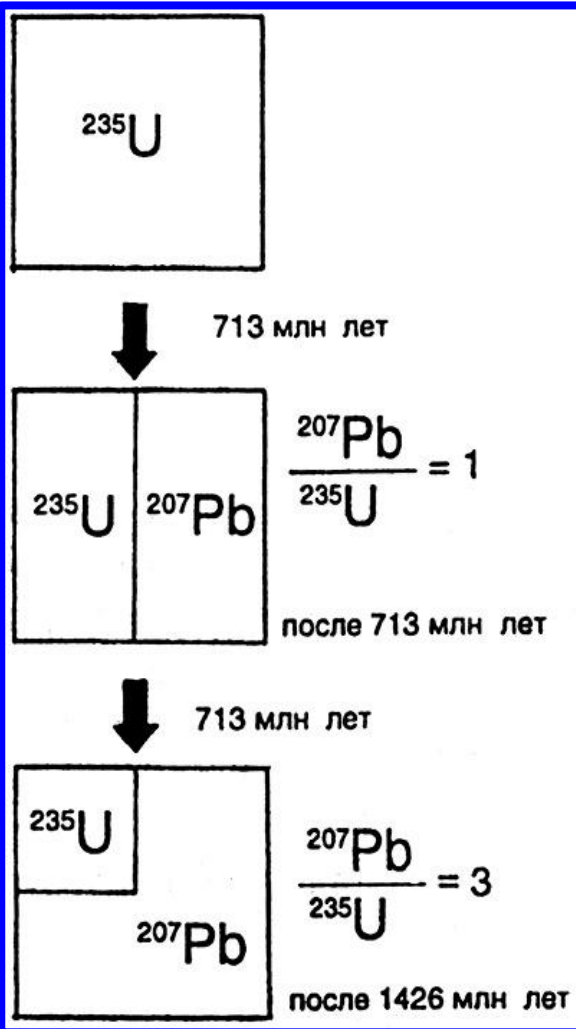
Количество родительского изотопа



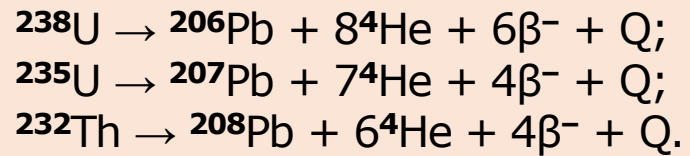
число полураспадов

Уран-торий-свинцовый метод

Радиоактивный распад урана и тория в стабильные изотопы свинца долгое время (до появления самарий-неодимового метода) рассматривался в качестве стандарта, с которым сравнивались данные других методов.

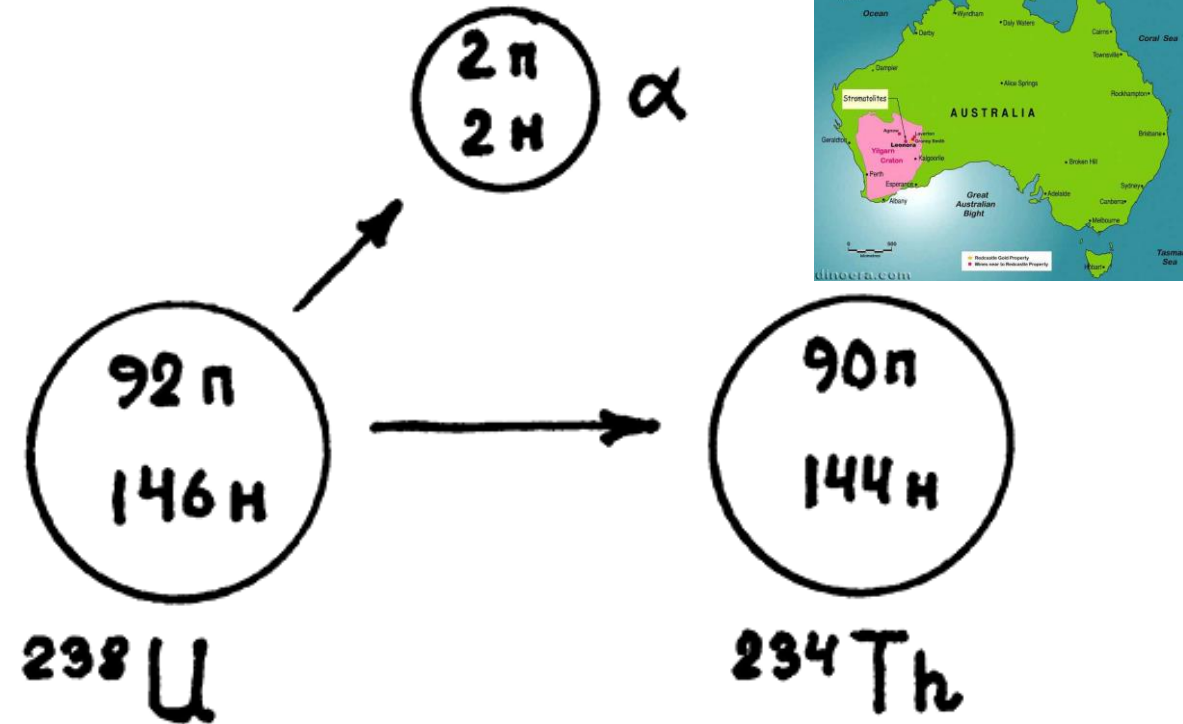


Это один из наиболее сложных методов в изотопной геохронологии. В уран-ториевой изотопной системе существуют три независимых семейства радиоактивного распада:

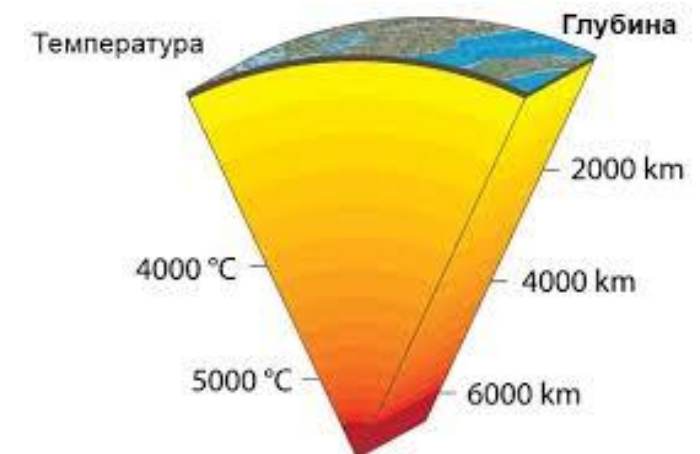
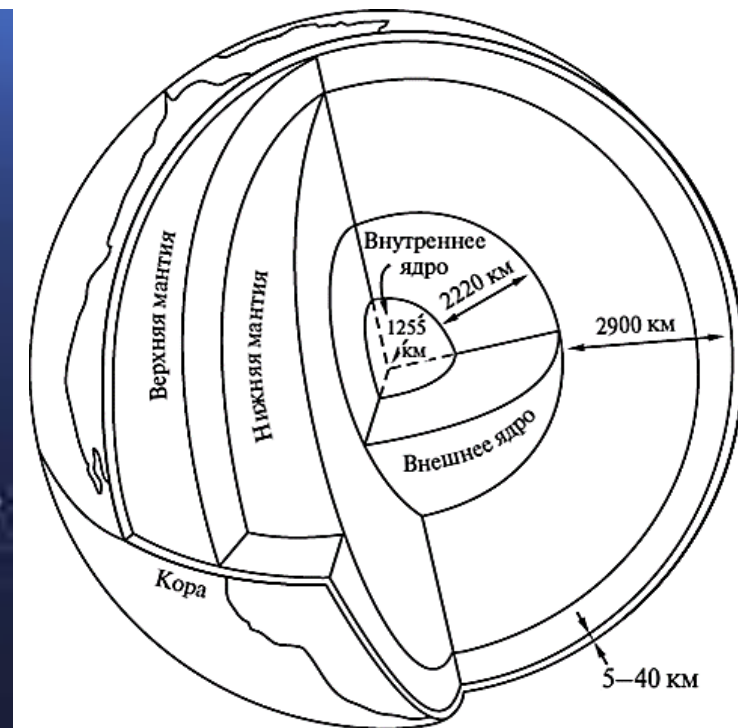
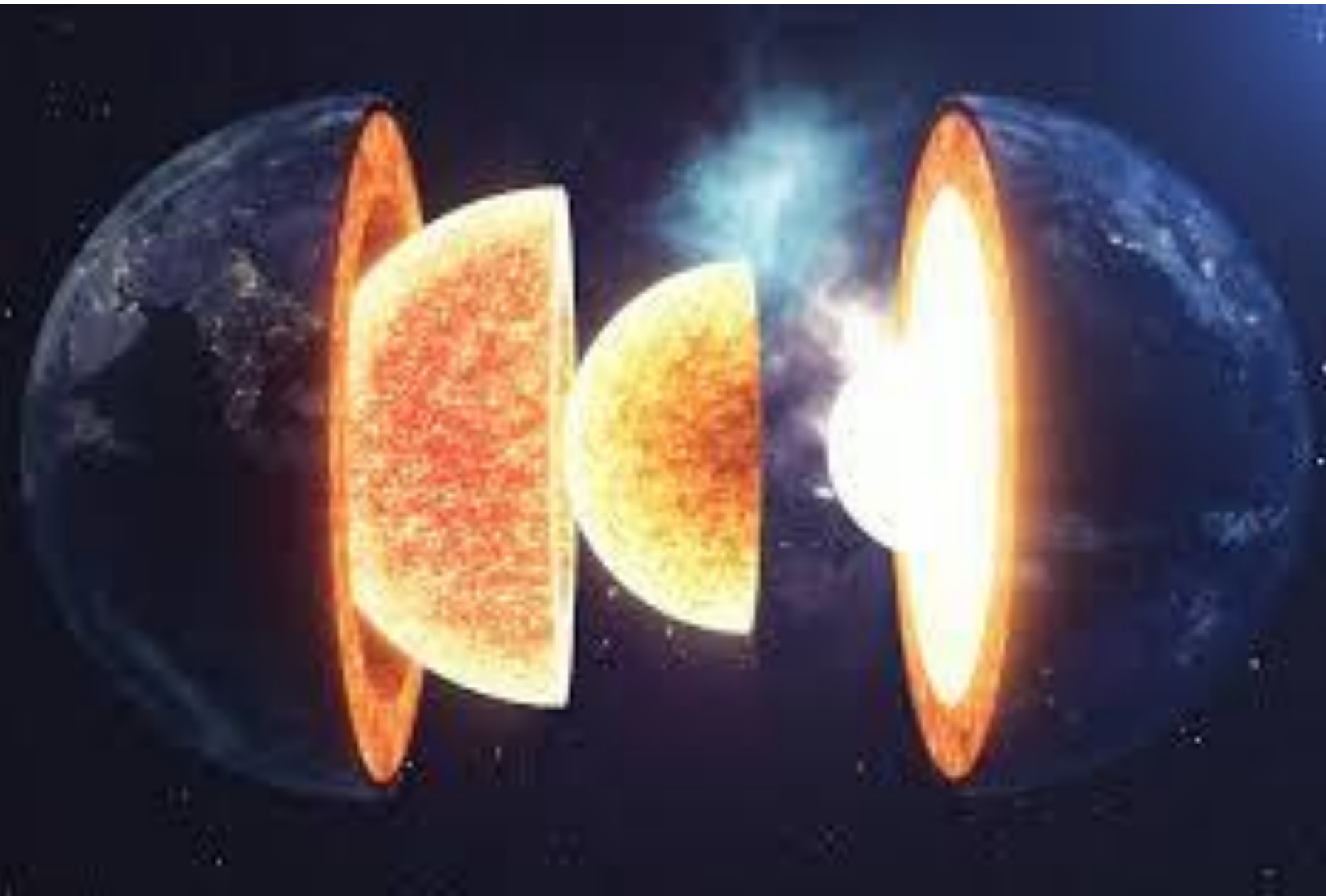


Распадаясь, каждый радиоактивный изотоп образует длинный ряд промежуточных продуктов распада и конечный стабильный изотоп свинца.

В последние годы в ***U-Th-Pb-изотопном датировании*** цирконов удалось достичь значительного прогресса благодаря применению ионного микрозонда (SHRIMP), сконструированного профессором **У. Компстоном** в Австралийском национальном университете. Этот прибор сочетает высокие чувствительность и разрешение с локальностью анализа (30 мкм). На этом приборе были проанализированы обломочные зерна циркона из метаосадочных пород позднеархейского зеленокаменного пояса кратона Илгарн (Зап. Австралия), показавшие возраст 4,1–4,3 млрд лет.

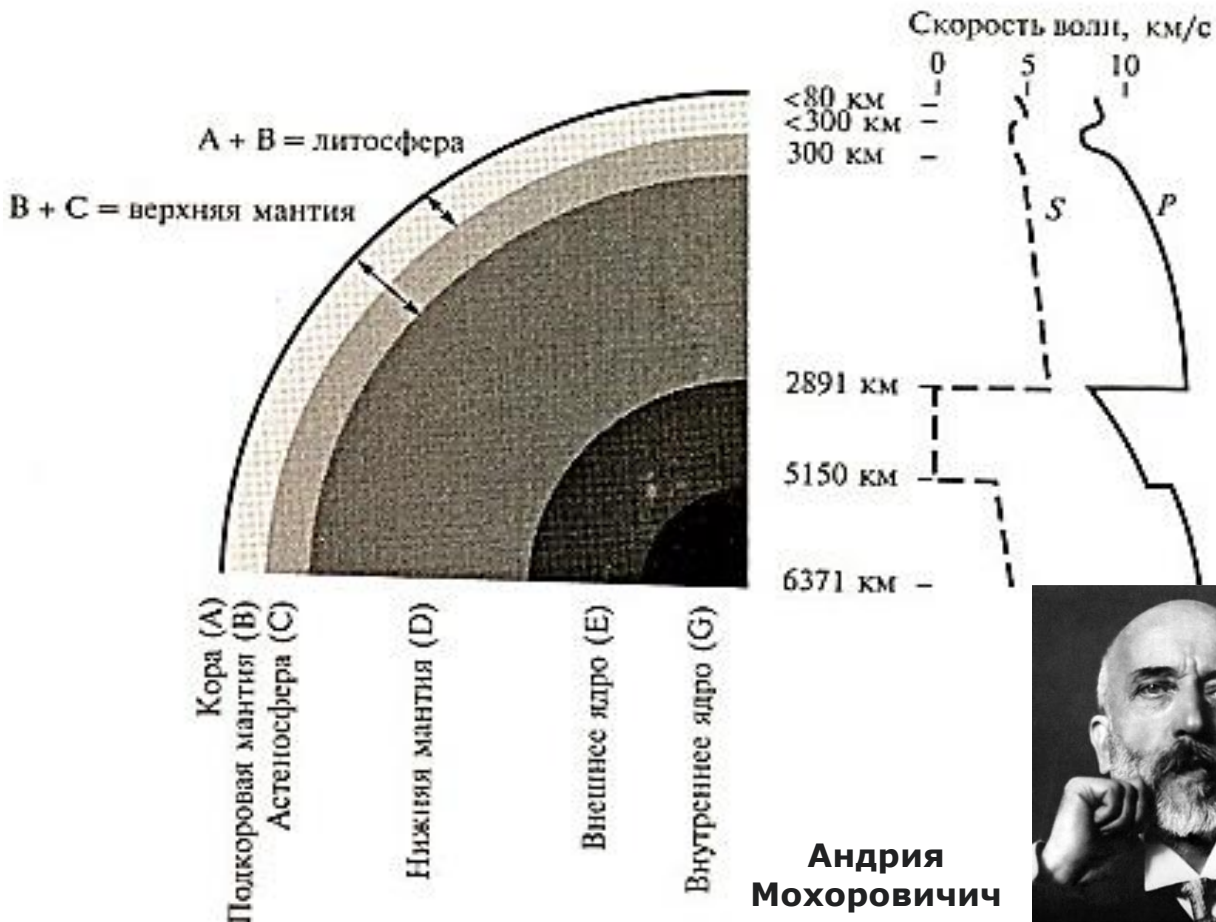
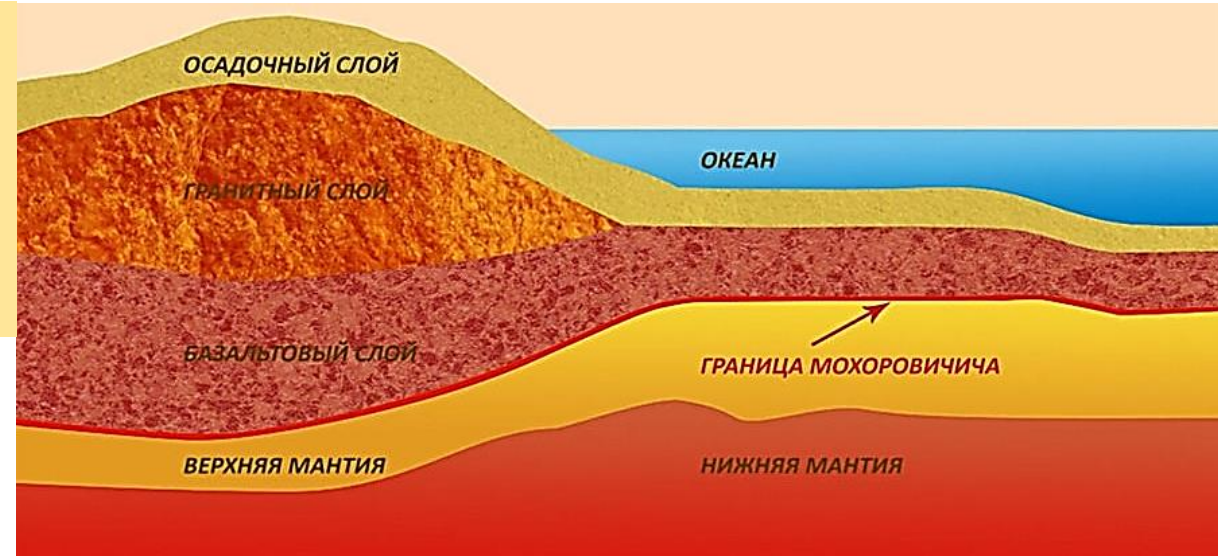


Во внутреннем строении Земли выделяют земную кору, мантию и ядро



Земная кора

Земная кора – первая оболочка твердого тела Земли, имеет мощность 30–40 км. По объему она составляет 1,2% объема Земли, по массе – 0,4%, средняя плотность – 2,7 г/см³. Состоит преимущественно из гранитов, осадочные породы в ней имеют подчиненное значение. Гранитная оболочка, в составе которой огромную роль играют кремний и алюминий, называется «сиалической» («сиаль»).



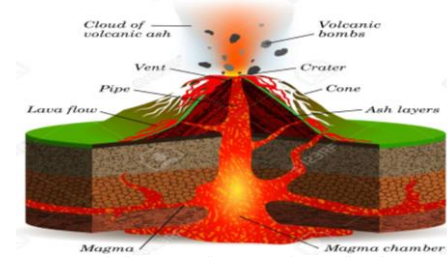
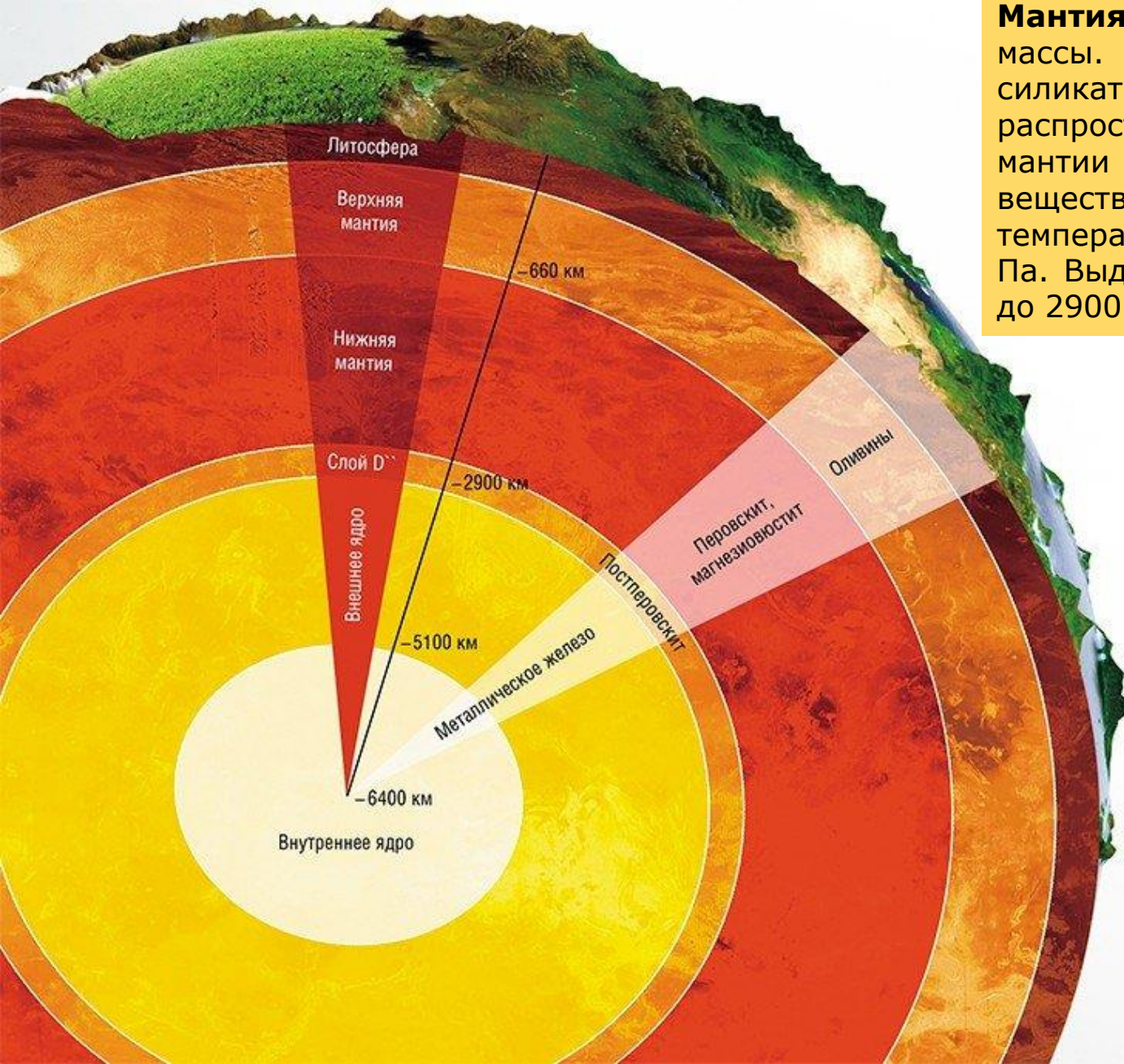
От мантии земная кора отделена сейсмическим разделом, названным *границей Мохо* (по фамилии сербского геофизика **А. Моховичича (1857–1936)**). Здесь происходит скачок скоростей продольных сейсмических волн примерно до 8 км/с (на глубинах 5–90 км). Это плоскость фазового перехода между *эклогитами* и *габбро* мантии и базальтами земной коры.

При переходе из мантии в кору давление падает, габбро переходят в базальты (кремний + магний – «сима»). Переход сопровождается увеличением объема на 15% и, соответственно, уменьшением плотности.

Поверхность Мохо – это нижняя граница земной коры. Важная особенность этой поверхности – она в общих чертах представляет собой как бы зеркальное отражение рельефа земной поверхности: под океанами она выше, под континентальными равнинами ниже, под наиболее высокими горами опускается ниже всего (*корни гор*).

Земная мантия

Мантия по объему составляет 83% объема Земли и 68% её массы. Предполагается, что она сложена расплавленной силикатной массой, насыщенной газами. Скорости распространения продольных и поперечных волн в нижней части мантии возрастают, соответственно, до 13 и 7 км/с. Плотность вещества возрастает до $5,7 \text{ г/см}^3$. На границе с ядром температура увеличивается до 3800°C , давление – до $1,4 \cdot 10^{11} \text{ Па}$. Выделяют верхнюю мантию до глубины 900 км и нижнюю – до 2900 км.



Традиционная модель строения Земли (а) и новая модель с выделением средней мантии (б) (Пуцаровский Д.Ю., 2016)

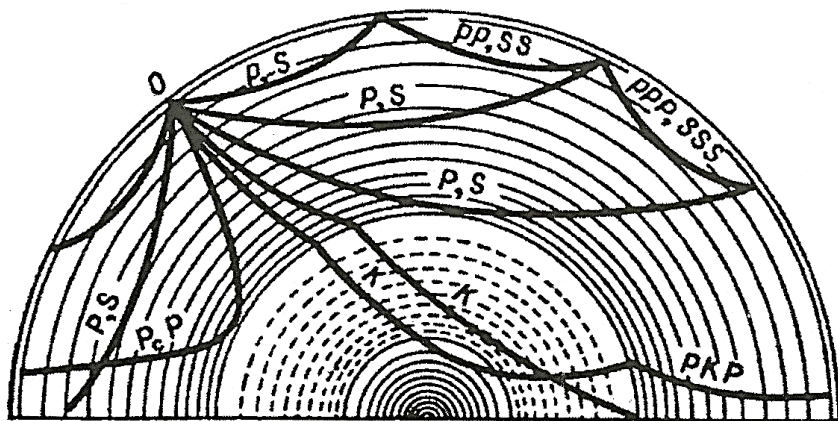
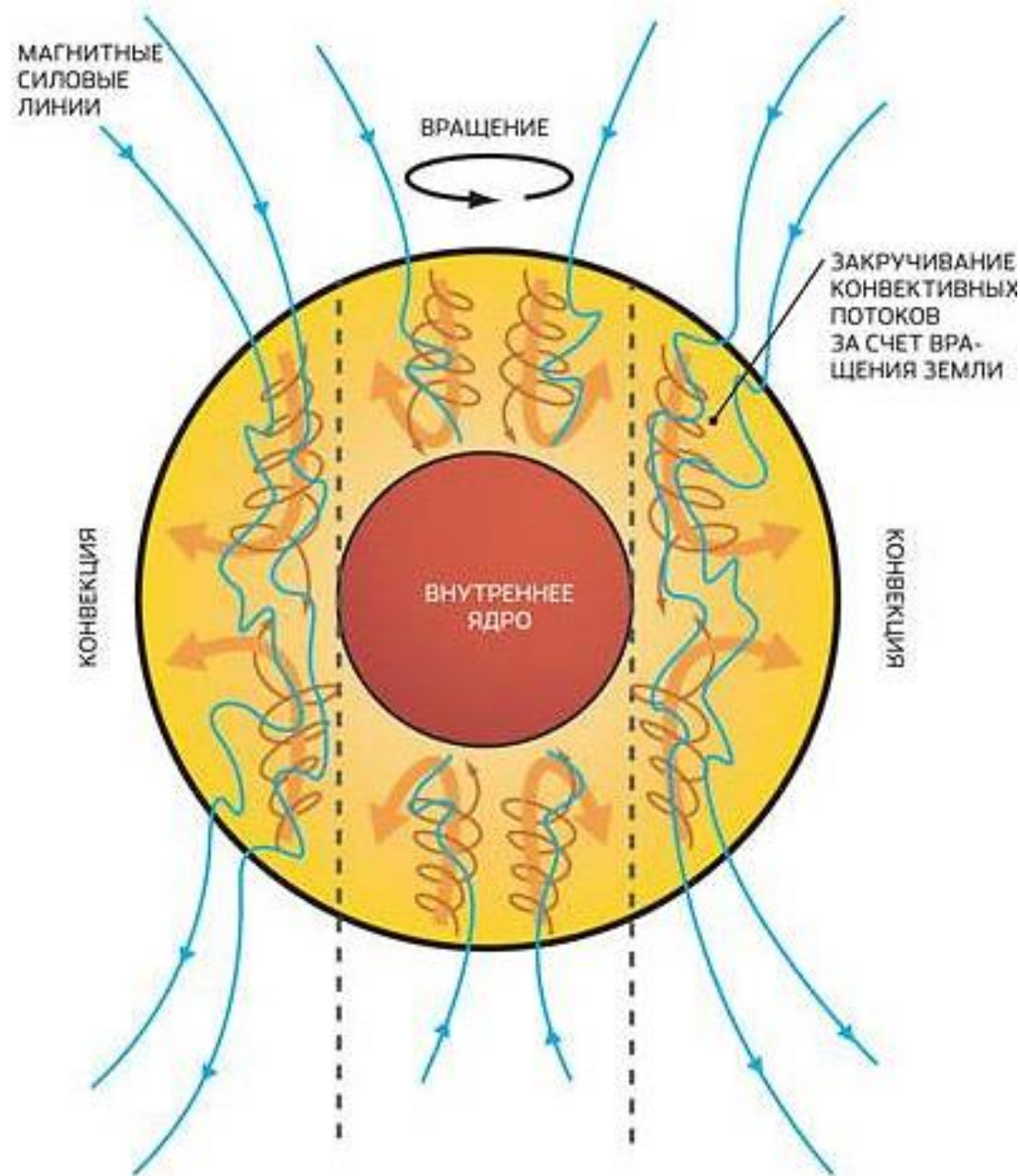
В верхней мантии на глубине 150–200 км присутствует астеносфера. Астеносфера (греч. *asthenes* – слабый) – слой пониженной твердости и прочности в верхней мантии Земли. Это основной источник магмы, в ней располагаются очаги питания вулканов и происходит перемещение литосферных плит.

Земное ядро

Ядро занимает 16% объема и 31% массы планеты.

Особенности:

- 1) Температура достигает 5000°C , давление – $37 \cdot 10^{11}$ Па, плотность – 16 г/см^3 .
- 2) Делится на внешнее (до глубины 5100 км), жидкое и внутреннее – твердое.
- 3) Во внешнем ядре скорость распространения продольных волн падает до 8 км/с, а поперечные волны не распространяются (жидкая среда).
- 4) Глубже 5100 км скорость распространения продольных волн возрастает и вновь проходят поперечные волны.
- 5) Внешнее ядро состоит из железа или металлизированных силикатов, внутреннее – железоникелевое.
- 6) В ядре Земли происходит металлизация вещества, обуславливая образование электрических токов и магнитосферы.



Пути основных сейсмологических волн в теле Земли: *P* – продольные волны, отраженные от земной поверхности; *P_cP* – продольные волны, отраженные от ядра; *PKP* – продольные волны, прошедшие ядро (нем. Керн – ядро); *S* – поперечные волны; *SS* – поперечные волны, отраженные от поверхности; *O* – очаг землетрясения

Недавно была предложена более сложная модель – внутреннее ядро было разделено на «внешнее внутреннее» и «внутреннее внутреннее» (с радиусом около 500 км). Причина расслоения внутреннего ядра, вероятно, связана с фазовым переходом Fe из гексагональной ϵ -модификации в более плотную высокобарную модификацию α' (с объемно-центрированной кубической ячейкой), существование которой было предсказано на основе модельных расчетов и недавно экспериментально подтверждено

Вероятный состав ядра Земли (по обзору McDonough, 2014)

Элемент	%	Элемент	%
Fe	85.50	N	0.0075
Ni	5.20	Cu	0.0125
Co	0.25	Ge	0.002
Si	6.00	As	0.0005
S	1.90	Se	0.0008
P	0.20	Mo	0.0005
C	0.20	W	0.000047
Cr	0.90	Pt	0.00057
Mn	0.03	Os	0.00028
Cl	0.02	Ir	0.00026
H	0.06	Au	0.00005

Experimental evidence of a body centered cubic iron at the Earth’s core condition

Rostislav Hrubíak¹, Yue Meng¹ and Guoyin Shen^{1*}

The crystal structure of iron in the Earth’s inner core remains debated. Most recent experiments suggest a hexagonal-close-packed (hcp) phase. In simulations, it has been generally agreed that the hcp-Fe is stable at inner core pressures and relatively low temperatures. At high temperatures, however, several studies suggest a body-centered-cubic (bcc) phase at the inner core condition. We have examined the crystal structure of iron at high pressures over 2 million atmospheres (>200GPa) and at high temperatures over 5000 kelvin in a laser-heated diamond cell using microstructure analysis combined with *in-situ* x-ray diffraction. Experimental evidence shows a bcc-Fe appearing at core pressures and high temperatures, with an hcp-bcc transition line in pressure-temperature space from about 95±2GPa and 2986±79K to at least 222±6GPa and 4192±104K. The trend of the stability field implies a stable bcc-Fe at the Earth’s inner core condition, with implications including a strong candidate for explaining the seismic anisotropy of the Earth’s inner core.

The Earth’s inner core displays directionally dependent elastic properties (i.e. anisotropy) inferred from seismological observations¹. Aligned hexagonal-close-packed (hcp) phase of iron in the core has been used to interpret the seismic anisotropy²⁻⁴. However, it has been reported, as well as observed in this study, that the c/a lattice parameter ratio of hcp-Fe becomes more ideal at higher pressures (*P*) and temperatures (*T*)⁵⁻⁷, effectively lowering the elastic anisotropy. Thus, the aligned hcp-Fe alone is insufficient to account for the observed anisotropy⁸⁻¹⁰. On the other hand, some theoretical simulations have suggested that a body-centered-cubic (bcc) phase of iron may be stable at high *P-T*¹¹⁻¹⁸. Aligned bcc-Fe can display a large elastic anisotropy required for explaining the inner core anisotropy⁸⁻¹⁰. However, some other theoretical studies have not replicated the bcc-Fe stability at high *P-T*, e.g.^{19,20}, or have suggested other possible modifications of Fe²¹⁻²³.

Previous experimental studies on the structure of iron at the Earth’s core condition have been inconclusive. A study on Fe-Ni alloy²⁴ showed a bcc structure at high *P-T*. A mixture of hcp-Fe and face-centered-cubic (fcc) iron was reported at 160GPa in samples quenched from high *T*²⁵, which was interpreted as an indication of bcc-Fe at high *P-T*²⁶. Other recent experiments, based on *in-situ* x-ray diffraction (XRD) and x-ray absorption spectroscopy (XAS) measurements in laser heated diamond anvil cell (LH-DAC)³¹⁻³⁶ have suggested hcp-Fe at the core conditions. Data from shockwave compression have suggested (at 75% confidence level) an unknown solid phase other than hcp at 200GPa^{37,38}. Later shockwave studies

molybdenum⁴⁰. XRD in LH-DAC experiments can contain signals not only from the center of the heating spot, but also the surrounding regions of relatively low-*T*³⁹ (Fig. S1). This is usually the case when the heating spot is not sufficiently larger than X-ray beam size and/or the sample is a strong scatter producing strong signal even in X-ray tail area. This contamination of signal from low-*T* regions may be why the hcp-Fe is so widely reported in literature^{31,32,36}. In fact, we also observe the XRD spots of hcp-Fe in all our experiments. Therefore, we emphasize that if we were to rely on *in-situ* high *P-T* XRD measurement alone, without the spatially-resolved microstructure data obtained from *T*-quenched samples, we would likely interpret the *in-situ* data as the evidence of hcp-Fe, just as those from previous LH-DAC experiments^{31,32,36}. As demonstrated below, the *T*-quenched microstructure and *in-situ* XRD provide complementary and essential evidence of bcc-Fe at high *T*. The spatially resolved allows us to identify the distribution to the heating spot and consequently providing a critical step for the observation only at high *T*.

Bcc-Fe signatures in quenched microstructure
In our experiments, Fe samples are single-crystal layers with (100)-surface in a diamond anvil cell (DAC)^{39,4} above strong uniaxial pressure, or



Вокруг Земли существуют разнообразные поля, наиболее существенное влияние на географическую оболочку оказывают **гравитационное** и **магнитное**.

Гравитационное поле на Земле – это поле силы тяжести.

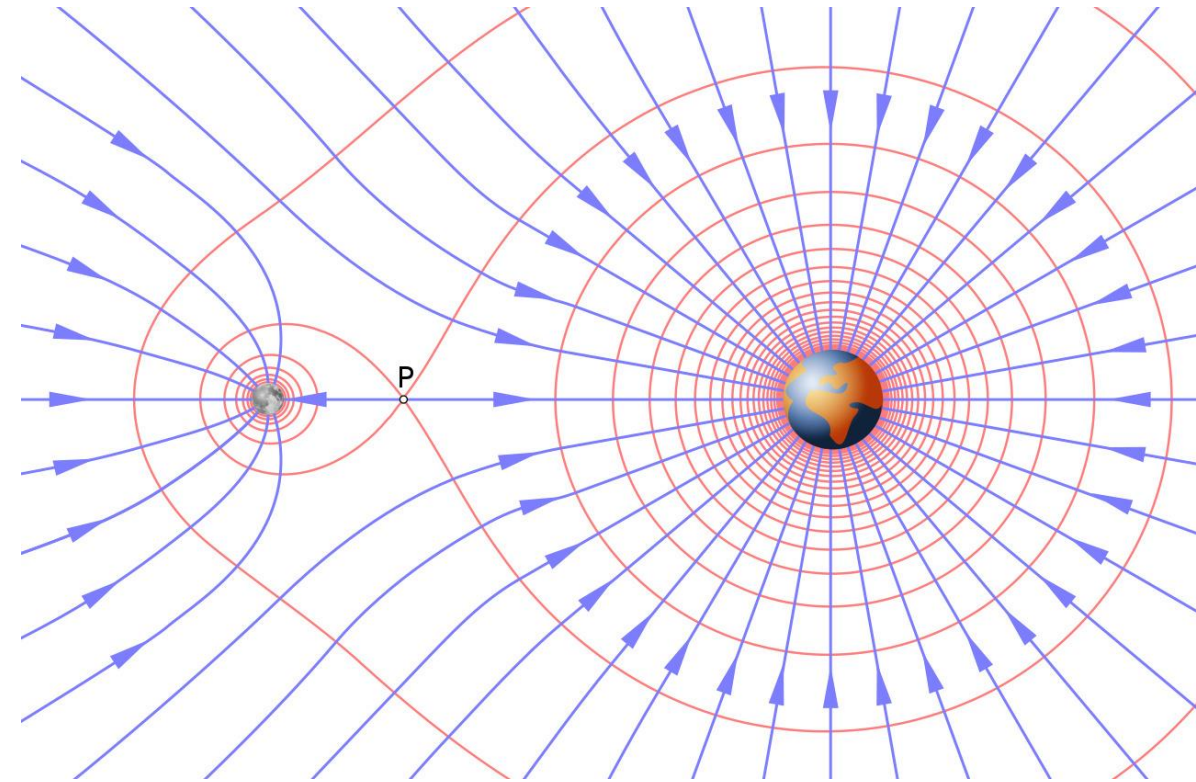
Сила тяжести – равнодействующая сила между силой притяжения и центробежной силой, возникающей при вращении Земли.

Центробежная сила достигает максимума на экваторе, но и здесь она мала и составляет 1/288 от силы тяжести.

Сила тяжести на Земле в основном **зависит от силы притяжения**, на которую оказывает влияние распределение масс внутри Земли и на поверхности.

Сила тяжести действует повсеместно на земле и направлена по отвесу к поверхности геоида.

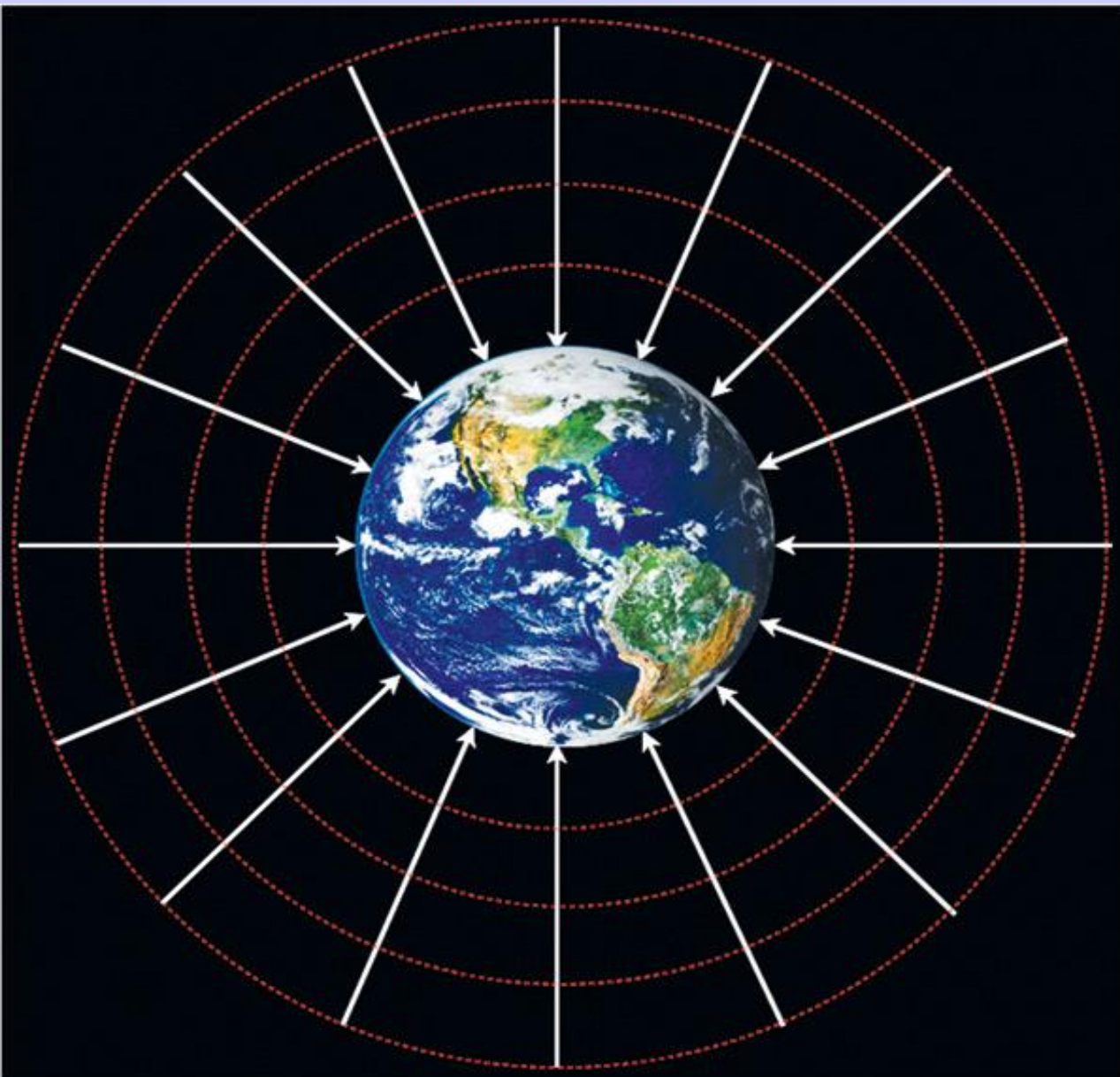
Напряженность гравитационного поля равномерно уменьшается от полюсов к экватору (на экваторе больше центробежная сила), от поверхности вверх (на высоте 36 000 км равна нулю) и от поверхности вниз (в центре Земли сила тяжести равна нулю).



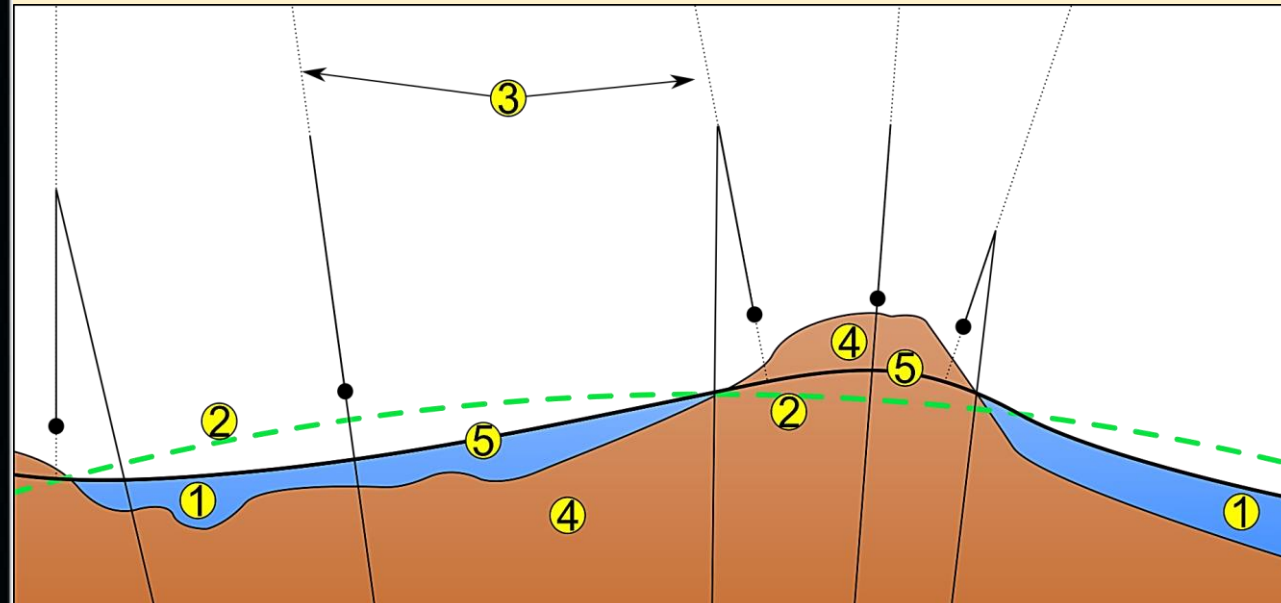
В неинерциальных системах отсчёта ускорение свободного падения численно равно силе тяжести, воздействующей на объект единичной массы.

Ускорение свободного падения на поверхности Земли ***g*** варьируется от **9,780 м/с² на экваторе** до **9,832 м/с² на полюсах**. Стандартное («нормальное») значение, принятое при построении систем единиц, составляет ***g* = 9,80665 м/с²**. Стандартное значение *g* было определено как «среднее» в каком-то смысле на всей Земле, оно примерно равно ускорению свободного падения на широте 45,5° на уровне моря

Нормальное гравитационное поле Земли – это такое поле, которое было бы у Земли, если бы она имела форму эллипсоида с равномерным распределением масс.



Напряженность реального поля в конкретной точке отличается от нормального, возникает **аномалия гравитационного поля**. Аномалии могут быть положительными и отрицательными: горные хребты создают дополнительную массу и должны вызывать положительные аномалии, океанические впадины, наоборот – отрицательные.



Гравитационные аномалии – это отклонения величины гравитационного поля от расчётной, вычисленной на основе той или иной математической модели. Эти отклонения могут быть вызваны различными факторами:

- Земля не является однородной, её плотность различна на разных участках;
- Земля не является идеальной сферой, и в формуле используется среднее значение величины её радиуса;
- расчётное значение g учитывает только силу тяжести и не учитывает центробежную силу, возникающую за счёт вращения Земли;
- при подъёме тела над поверхностью Земли значение g уменьшается («высотная поправка», аномалия Бугера);

На Землю воздействуют гравитационные поля других космических тел, в частности, приливные силы Солнца и Луны

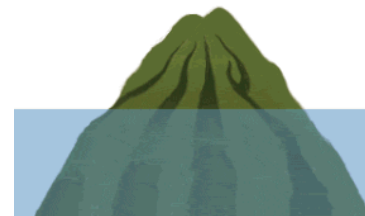
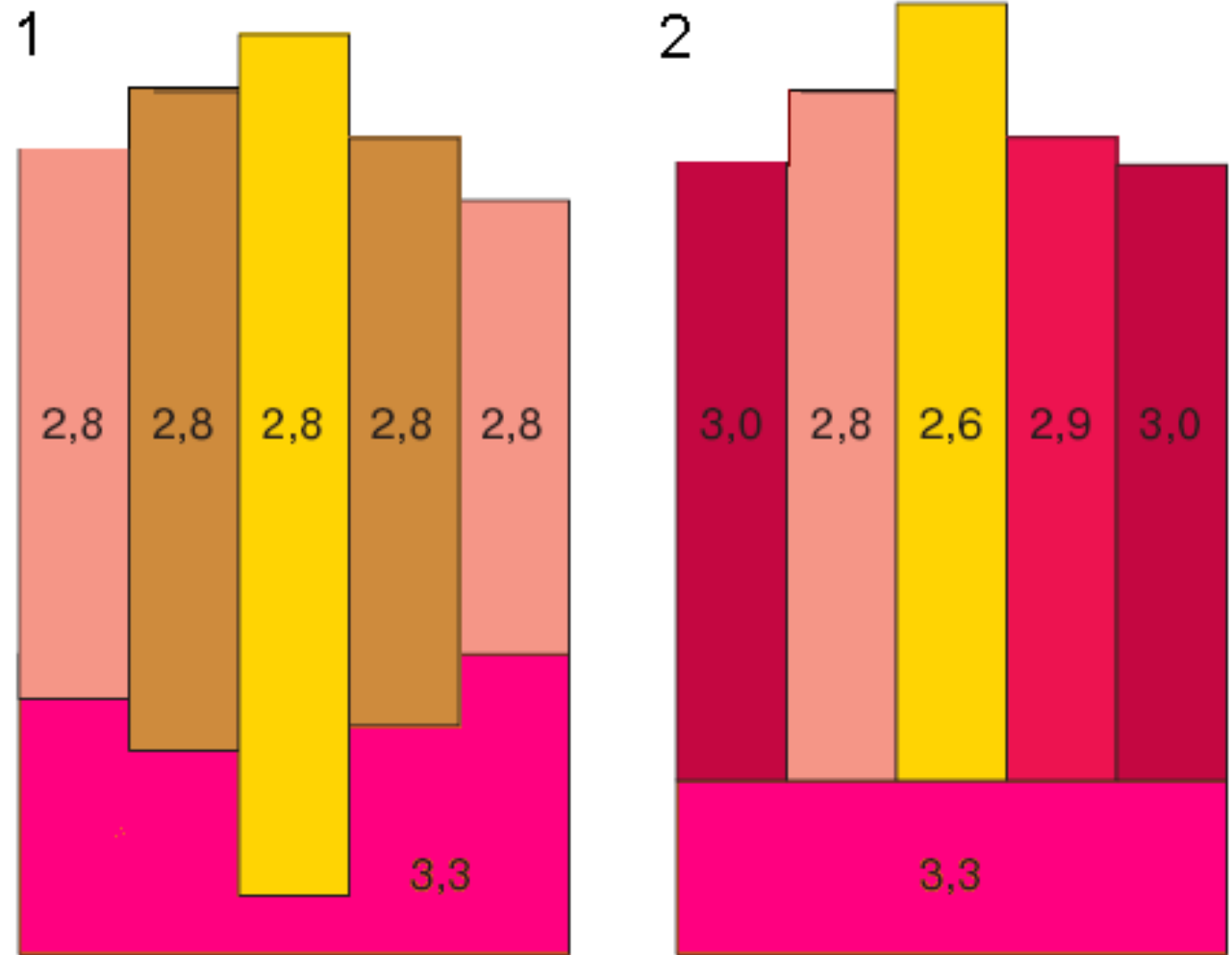
Изостазия (от греч. *isostasios* – равный по весу) – уравнивание твердой, относительно легкой земной коры более тяжелой верхней мантией. Теория равновесия была выдвинута английским ученым **Дж.Б. Эйри (1855 г.)**.

Благодаря изостазии избытку масс выше теоретического уровня равновесия соответствует недостаток их внизу. Это выражается в том, что на определенной глубине (100–150 км) в слое астеносферы вещество перетекает в те места, где имеется недостаток масс на поверхности. Только под молодыми горами, где еще полностью компенсация не произошла, наблюдаются слабые положительные аномалии



«...Плотность коры однородна и для компенсации возвышений рельефа земной коры, например, горных хребтов высотой 5—7 км, подошва земной коры под возвышениями должна погрузиться в мантию на глубину, пропорциональную величине возвышения...»

Изостатические модели по Джорджу Эйри (1) и Джону Пратту (2)



Пример действия изостазии – крупные вулканические острова в океанах. Они за относительно короткий промежуток времени могут извергать огромный объем магмы, который значительно нагружает океаническую кору и она начинает пригибаться. Поэтому древние неактивные вулканы типа гавайских постепенно погружаются под воду и, по мере роста коралловых рифов на подводных склонах превращаются в кольцевые коралловые атоллы

Значение гравитационного поля Земли для ее природы:

1. Сила тяжести создает фигуру Земли и является одной из **ведущих эндогенных сил**. Благодаря ей, выпадают атмосферные осадки, текут реки, формируются горизонты подземных вод, наблюдаются склоновые процессы. Давление масс вещества, реализующееся в процессе гравитационной дифференциации в нижней мантии, наряду с радиоактивным распадом порождает тепловую энергию – источник внутренних (эндогенных) процессов, перестраивающих литосферу.

2. Земное тяготение уплотнило внутреннее вещество Земли и, независимо от его химического состава, сформировало плотное ядро.

3. Главным в истории планеты с геофизической точки зрения является **процесс гравитационной дифференциации вещества** – расслоение в соответствии с его плотностью в поле силы тяжести. В результате такого расслоения возникли геосферы, каждая из которых сложена веществом одного агрегатного состояния и сходной плотности.

4. Сила тяжести удерживает газовую и водную оболочки планеты. Атмосферу планеты покидают только самые легкие молекулы водорода и гелия.

5. Сила тяжести обуславливает стремление земной коры к изостатическому равновесию. Силой тяжести объясняется максимальная высота гор; **на нашей Земле не может быть гор выше 9 км.**

6. Наличие астеносферы, допускающей движение литосферы, тоже функция силы тяжести, поскольку расплавление вещества происходит при благоприятном соотношении количества тепла и величины сжатия (давления).

7. Шаровая фигура гравитационного поля определяет два основных вида форм рельефа на земной поверхности – конические и равнинные, которые соответствуют двум универсальным формам симметрии – конической и билатеральной.

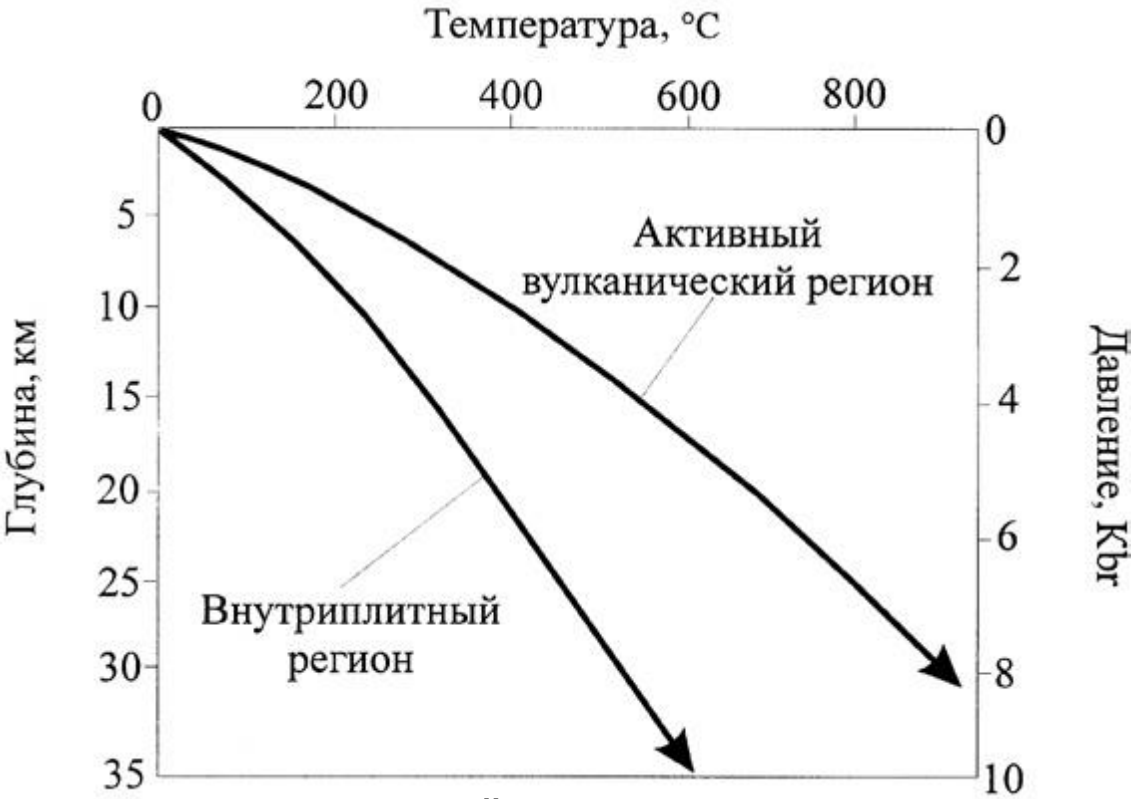
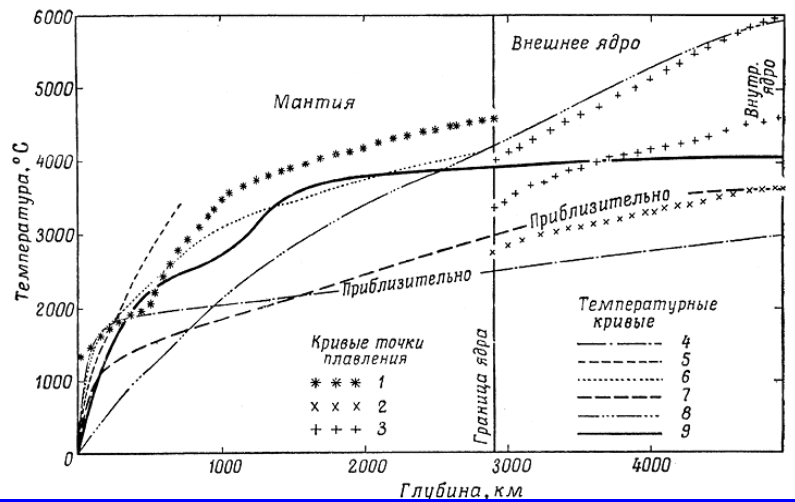
8. Направление силы тяжести к центру Земли, помогает животным удерживать вертикальное положение.

Температура поверхностного слоя земной коры (в среднем до 30 м) определяется солнечным теплом. Это **гелиометрический слой**, испытывающий сезонные колебания температуры.

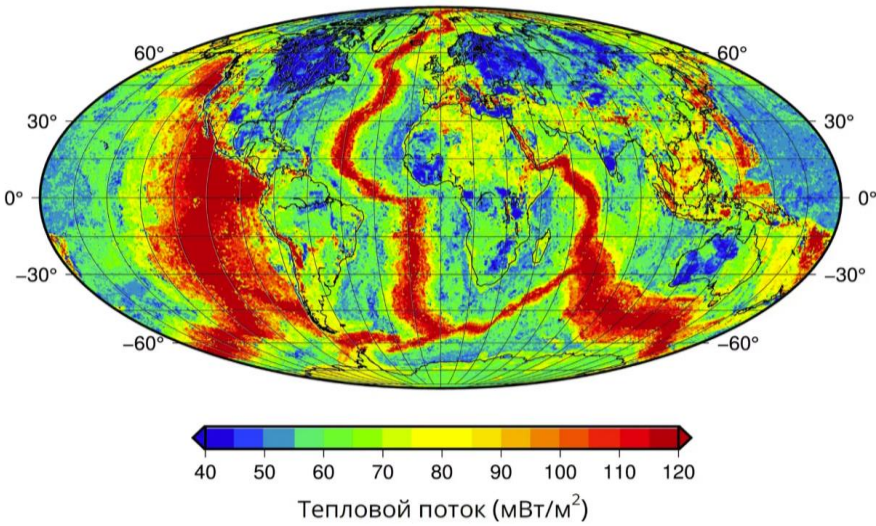
Ниже — еще более тонкий горизонт постоянной температуры (около 20 м), соответствующий среднегодовой температуре места наблюдения. Ниже постоянного слоя температура с глубиной нарастает- **геотермический слой**.

Изменение температуры при углублении в Землю на 100 м называется **геотермическим градиентом**. Его величина колеблется от 0,1 до 0,01 °C/м и зависит от состава горных пород, условий их залегания. Расстояние по отвесу, на которое необходимо углубиться, чтобы получить повышение температуры на 1°, называется **геотермической ступенью** (колеблется от 10 до 100 м/°C).

Температура увеличивается с глубиной неравномерно и в разных районах может различаться более чем в 20 раз. Это связано как с различной теплопроводностью пород, так и с количеством тепла, которое поступает из недр Земли.

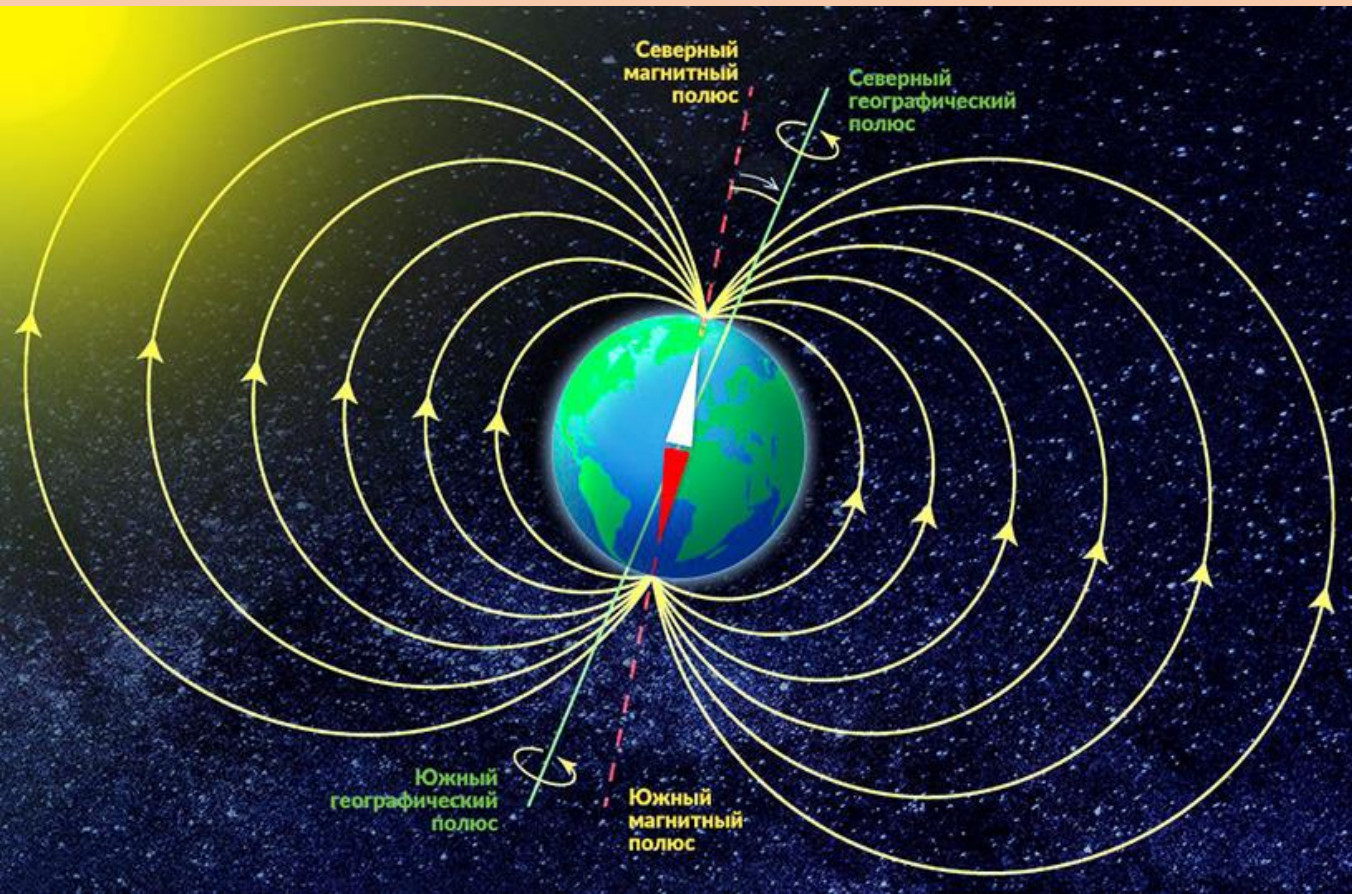


Геотермический градиент в различных геологических регионах



Магнитосфера – область околоземного пространства, заполненная заряженными частицами, движущимися в магнитном поле Земли. Образована корпускулярными потоками Солнца, создающими переменное магнитное поле Земли и отделена от межпланетного пространства магнитопаузой - *внешняя граница магнитосферы*. Постоянное магнитное поле образуется благодаря электрическим токам, возникающим во внешнем ядре планеты.

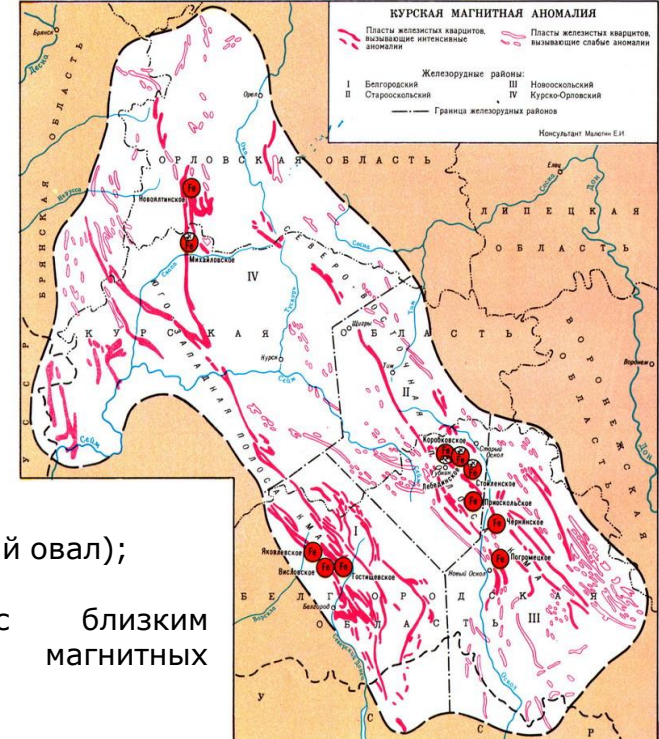
Наглядное представление о состоянии магнитного поля Земли дают магнитные карты. Магнитные карты составляются **магнитную эпоху (5 лет)**.



Земля по сути – магнитный диполь (стержень, концы которого имеют противоположные магнитные полюса). Места пересечения магнитной оси диполя с земной поверхностью – **геомагнитные полюса**. Они не совпадают с географическими и медленно движутся со скоростью 7–8 км/год. Отклонения реального магнитного поля от нормального (теоретически рассчитанного) – это **магнитные аномалии**.

Они могут быть:

- **мировыми** (Восточно-Сибирский овал);
- **региональными** (КМА);
- **локальными** (связаны с близким залеганием к поверхности магнитных пород).



Магнитное поле Земли

Характеризуется тремя величинами:

1) магнитное склонение – угол между географическим меридианом и направлением магнитной стрелки:

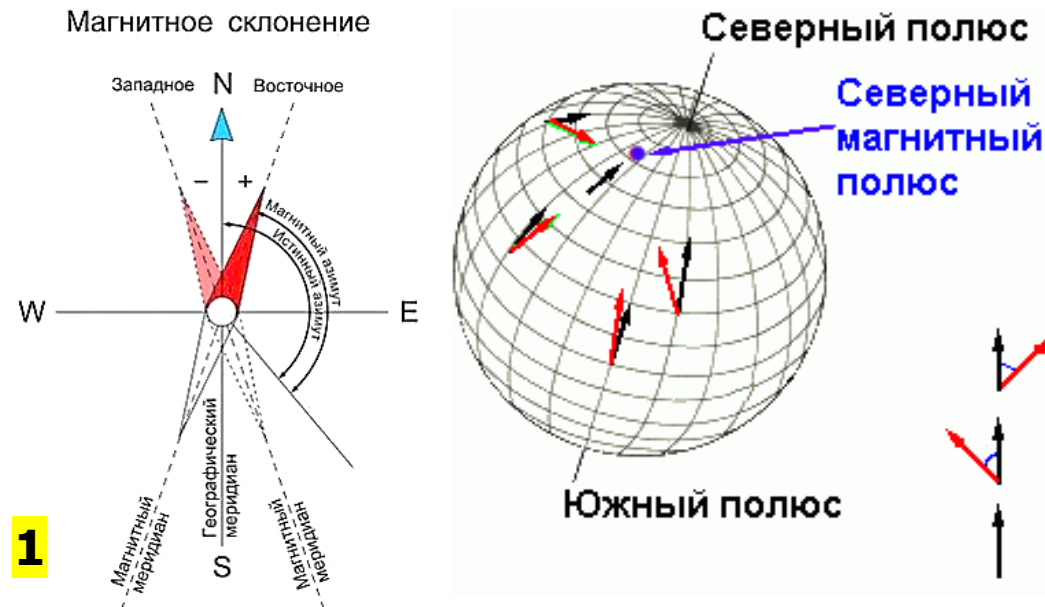
- восточное (+), когда северный конец стрелки компаса отклоняется к востоку от географического меридиана;
- западное (-), когда стрелка отклоняется к западу.

2) магнитное наклонение – угол между горизонтальной плоскостью и направлением магнитной стрелки, подвешенной на горизонтальной оси:

- положительное (северный конец стрелки смотрит вниз);
- отрицательное (северный конец направлен вверх).

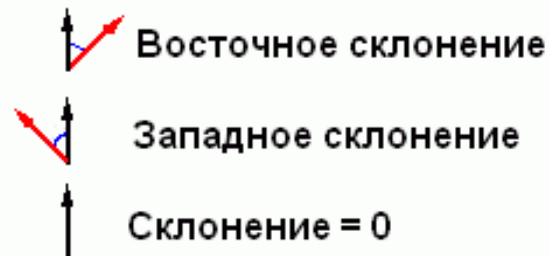
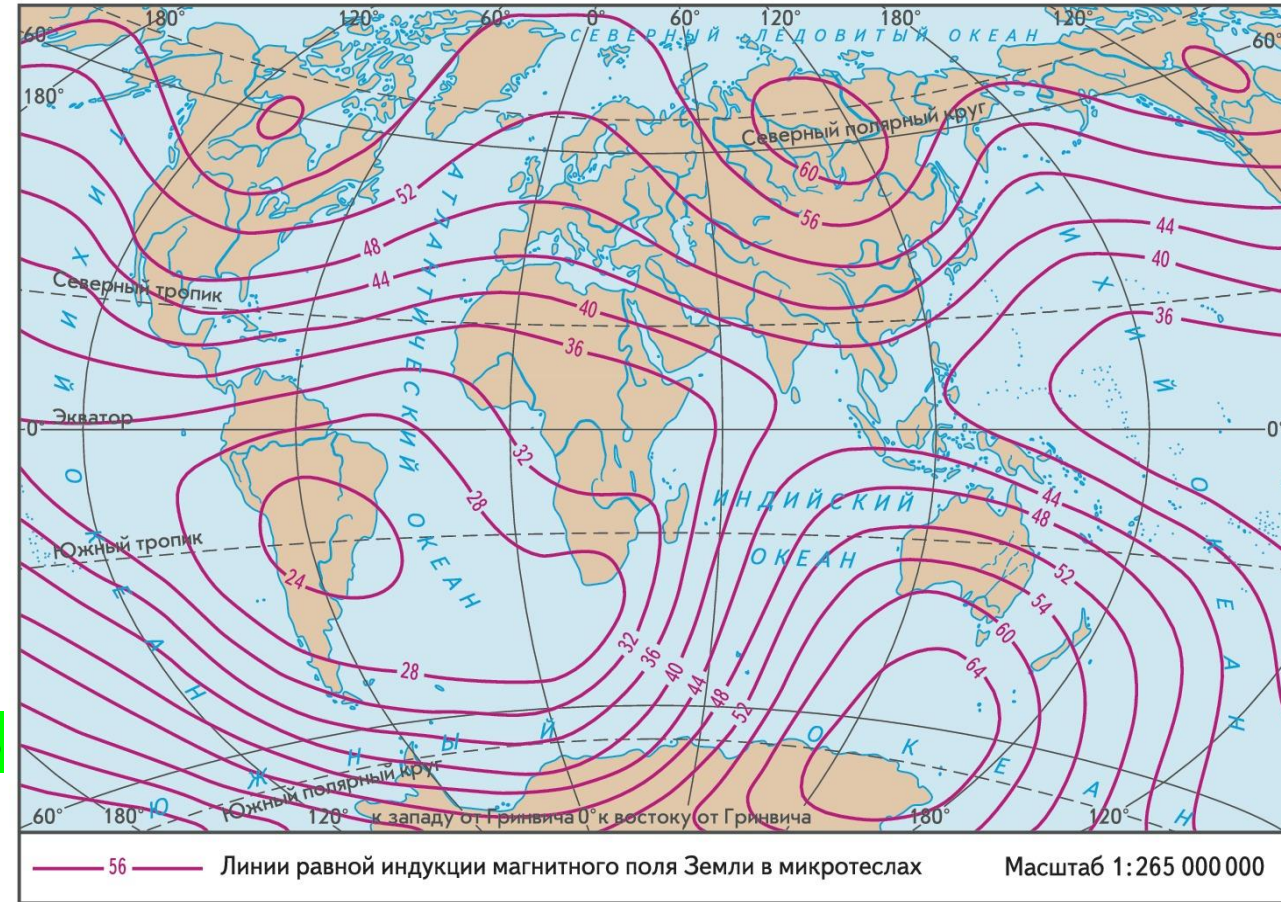
Магнитное наклонение изменяется от 0 до 90°.

3) напряженность – характеризует силу магнитного поля, небольшая и составляет на экваторе 20–28 А/м, на полюсе – 48–56 А/м.

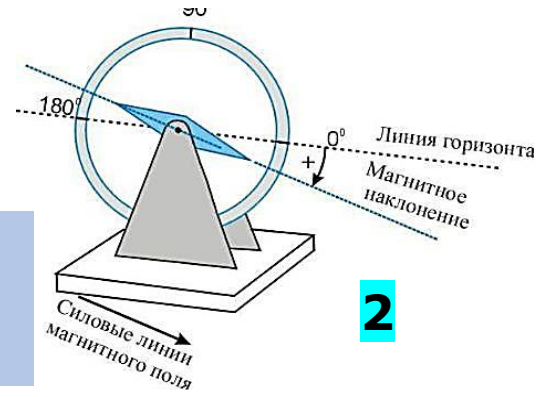


3

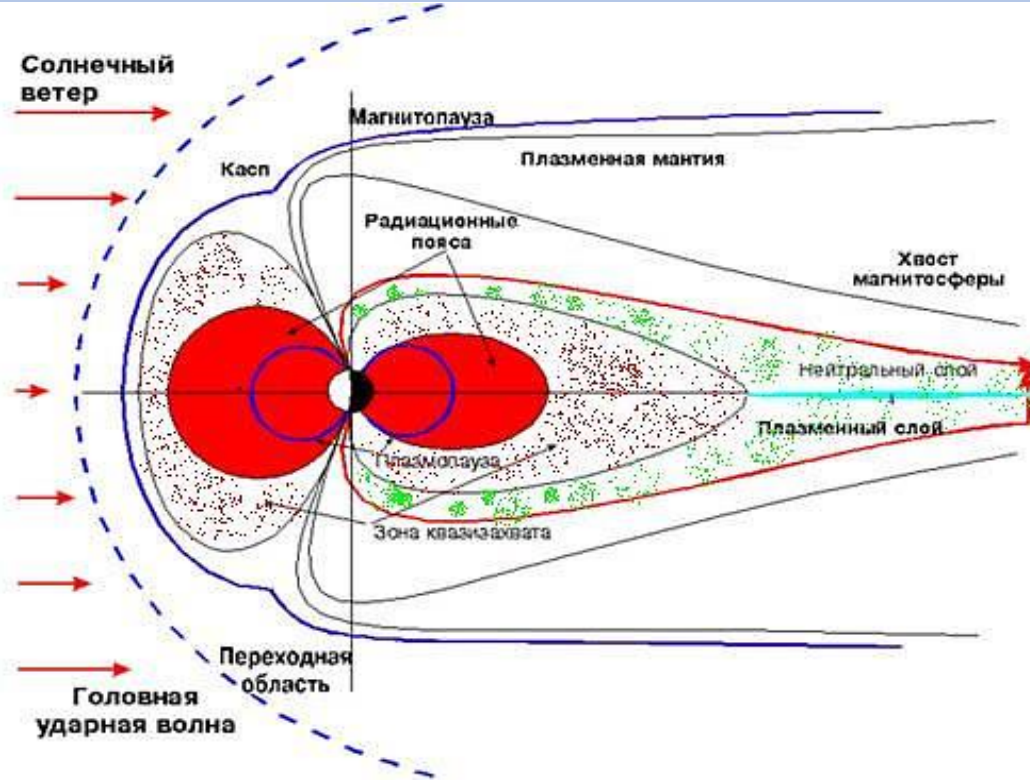
ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ЭПОХУ 2005 г.



$I = 0^\circ$ на экваторе,
 $I = +90^\circ$ на СМП
 $I = -90^\circ$ на ЮМП



Магнитосфера имеет каплевидную форму. На стороне, обращенной к Солнцу, ее радиус равен 10 радиусам Земли, на ночной стороне под влиянием «солнечного ветра» увеличивается до 100 радиусов.



Внутренний радиационный пояс состоит из протонов, имеет максимальную концентрацию на высоте 3500 км над экватором.

Внешний пояс образован электронами, простирается до 10 радиусов Земли.

У магнитных полюсов высота радиационных поясов уменьшается, здесь возникают области, в которых заряженные частицы вторгаются в атмосферу, ионизируя газы атмосферы и вызывая **полярные сияния**.

Форма обусловлена воздействием *солнечного ветра*, который, наталкиваясь на магнитосферу Земли, обтекает ее. Заряженные частицы, достигая магнитосферы, начинают двигаться по магнитным силовым линиям и образуют радиационные пояса



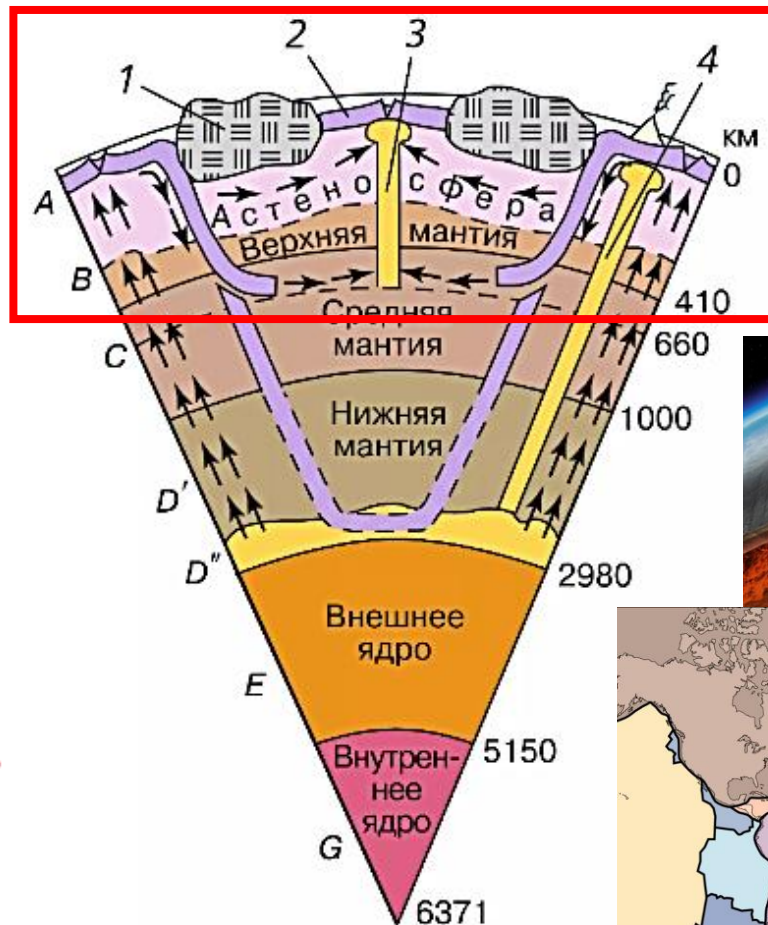
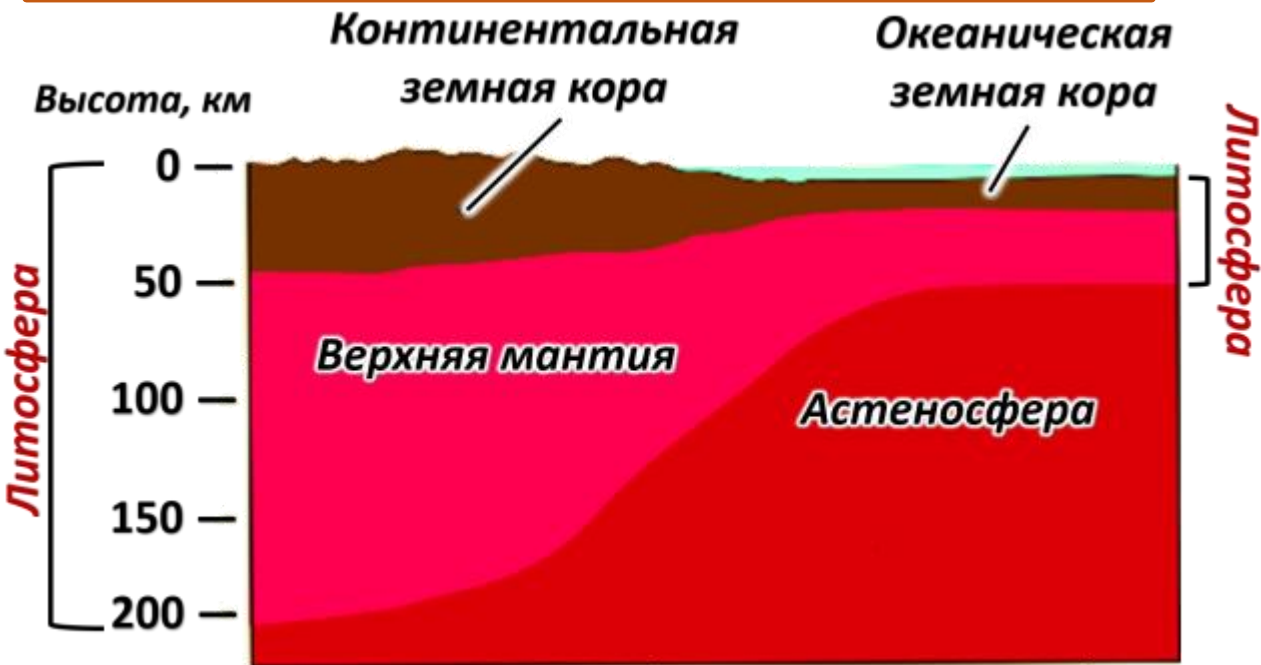
Географическое значение магнитосферы:

- защищает Землю от корпускулярного солнечного и космического излучения;
- с магнитными аномалиями связан поиск полезных ископаемых;
- магнитные силовые линии помогают ориентироваться в пространстве туристам, кораблям.

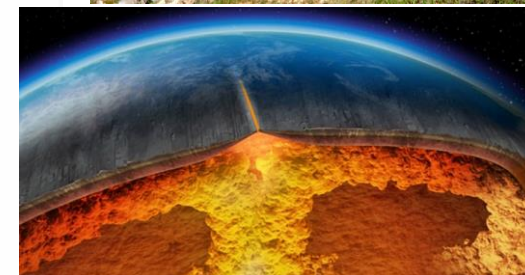
2 Литосфера – составная часть географической оболочки

2.1 Литосфера и горные породы

Термин «**литосфера**» в современном понимании включает земную кору и жесткую верхнюю часть верхней мантии Земли. *Верхняя мантия* – это геологический термин, обозначающий очень большой слой; верхняя мантия имеет мощность до 500, по некоторым классификациям – свыше 900 км, а в состав литосферы входят лишь верхние от нескольких десятков до двух сотен километров.



А – земная кора и литосферная мантия (стрелками показано направление переноса вещества);
1 – континентальная литосфера; 2 – океаническая литосфера; 3 – плюм исландского типа;
4 – плюм гавайского типа.



Горные породы

Большую часть объема земной коры занимают кристаллические породы магматического и метаморфического происхождения (около 90%).

Магматические

Глубинные
гранит
габбро

Изверженные
Базальт
вулканический туф
пемза



Метаморфические

Осадочные

Обломочные
галька
песок
глина

Органические
уголь
мел

Химические
гипс
доломит



мрамор
кварцит
гнейс
глиняный сланец



В верхней части литосферы – обнаружено 90 химических элементов, но только 8 из них широко распространены (97,2%):

O 8
КИСЛОРОД
15,999
 $2s^2 2p^4$

49%

Ca 20
КАЛЬЦИЙ
40,08
 $4s^2$

3,3%

Si 14
КРЕМНИЙ
28,086
 $3s^2 3p^2$

26%

Na 11
НАТРИЙ
22,990
 $3s^1$

2,4%

Al 13
АЛЮМИНИЙ
26,981
 $3s^2 3p^1$

7,5%

K 19
КАЛИЙ
39,098
 $4s^1$

2,4%

Fe 26
ЖЕЛЕЗО
55,847
 $3d^6 4s^2$

4,2%

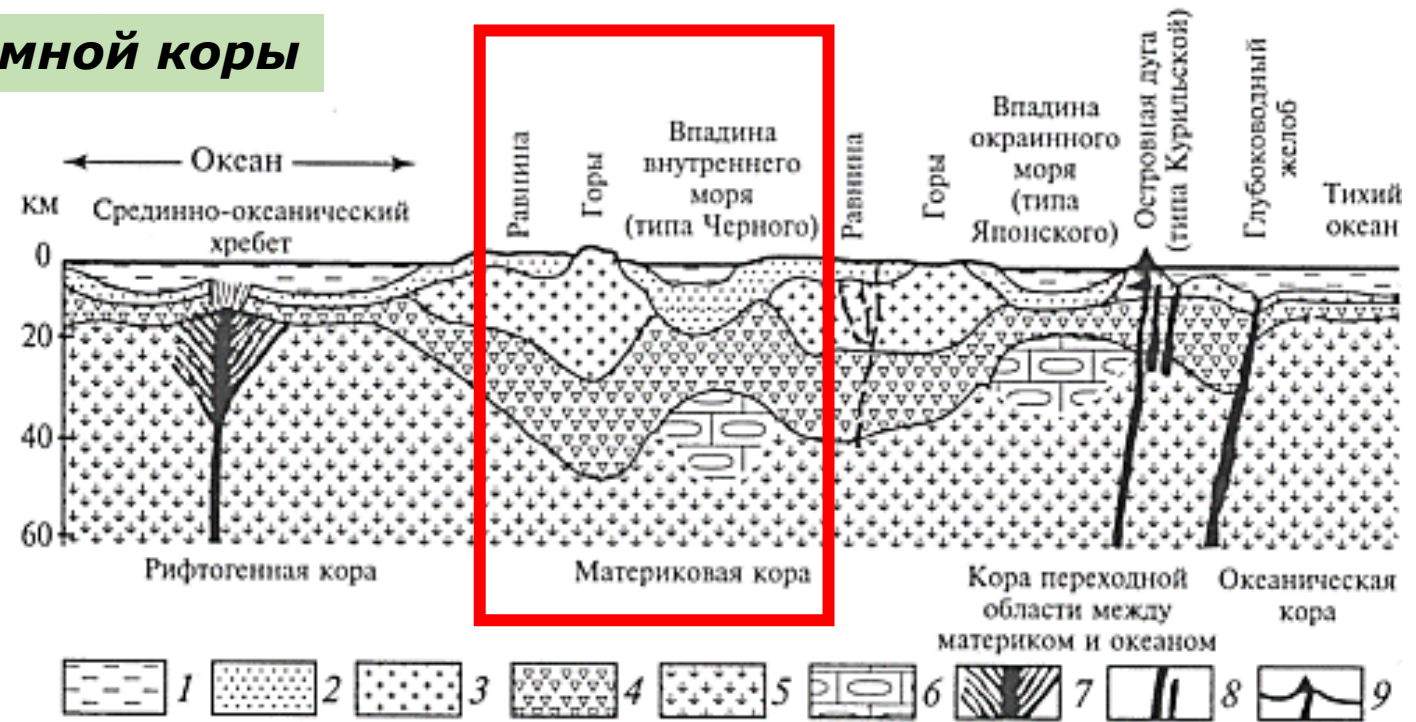
Mg 12
МАГНИЙ
24,305
 $3s^2$

2,4%

2.2 Типы земной коры

1. Материковая кора

Мощность 30–40 км (под молодыми горами – до 80 км). В рельефе соответствует материковым выступам (включается подводная окраина материка)



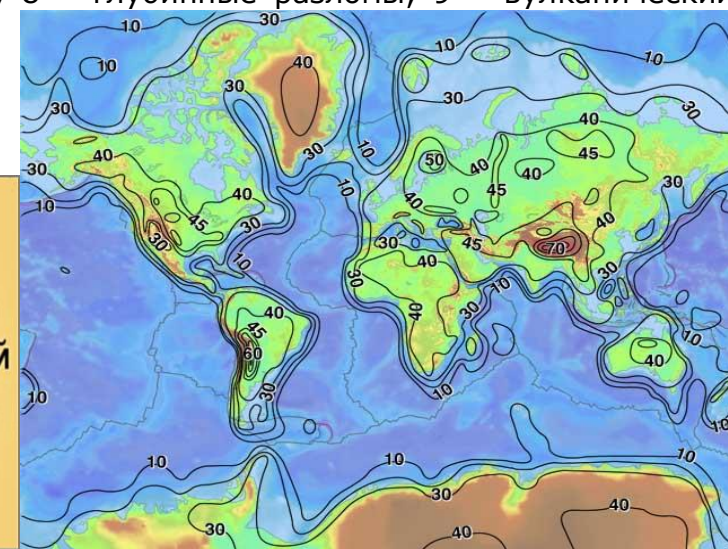
Типы земной коры :

1 - вода, 2 - осадочный слой, 3 - гранитный слой, 4 - базальтовый слой, 5 - мантия Земли, 6 - участки мантии, сложенные породами повышенной мощности, 7 - участки мантии, сложенные породами пониженной мощности, 8 - глубинные разломы, 9 - вулканический конус

а) **осадочный слой** (толщина – до 15–20 км, сложен слоистыми осадками (преобладают глины и глинистые сланцы, широко представлены песчаные, карбонатные и вулканогенные породы).

б) **гранитный, или гранитно-метаморфический слой** (мощность 10–15 км, состоит из метаморфических и изверженных кислых пород с содержанием кремнезема свыше 65%, близких по своим свойствам к граниту; наиболее распространены гнейсы, гранодиориты и диориты, граниты, кристаллические сланцы).

в) **базальтовый, или гранулитобазитовый слой** (наиболее плотный, толщиной 15–35 км, средняя плотность материковой коры 2,7 г/см³; между гранитным и базальтовым слоями лежит *граница Конрада* (австрийский геофизик).



2. Переходная, или геосинклинальная кора

Соответствует переходным зонам – геосинклиналям. Расположены переходные зоны у восточных берегов материка Евразии, у восточных и западных берегов Северной и Южной Америки

- 1) котловина окраинного моря;
- 2) островные дуги;
- 3) глубоководный желоб

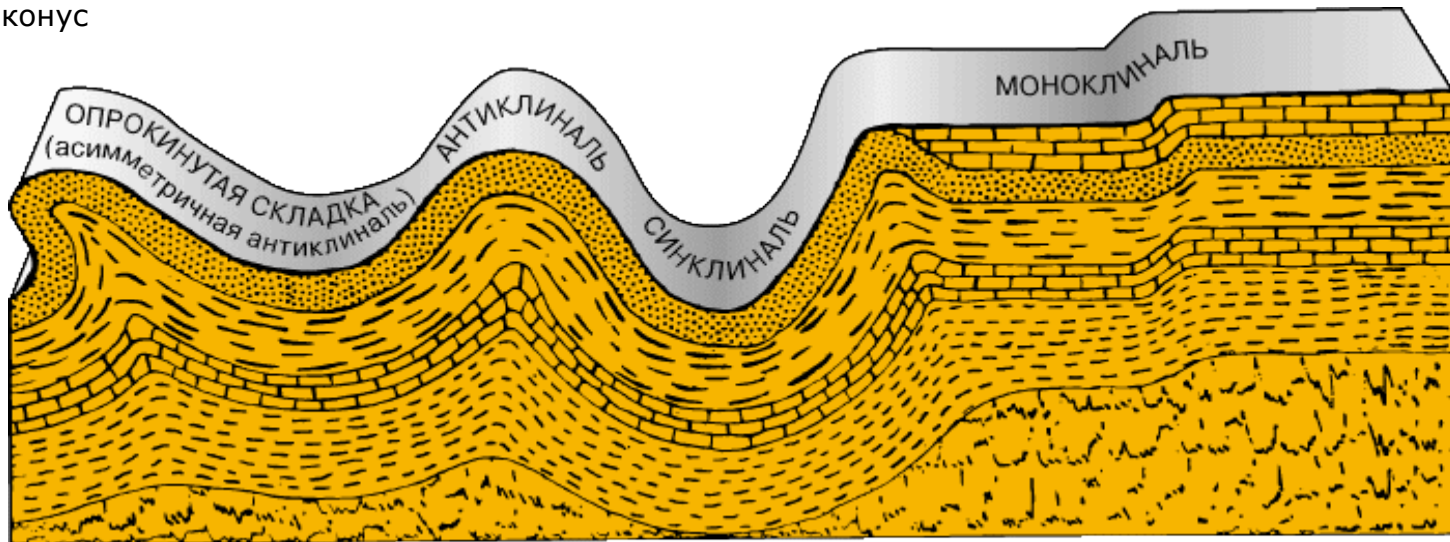


Типы земной коры :

1 - вода, 2 – осадочный слой, 3 – гранитный слой, 4 – базальтовый слой, 5 – мантия Земли, 6 – участки мантии, сложенные породами повышенной мощности, 7 – участки мантии, сложенные породами пониженной мощности, 8 – глубинные разломы, 9 – вулканический конус

ВНИМАНИЕ!

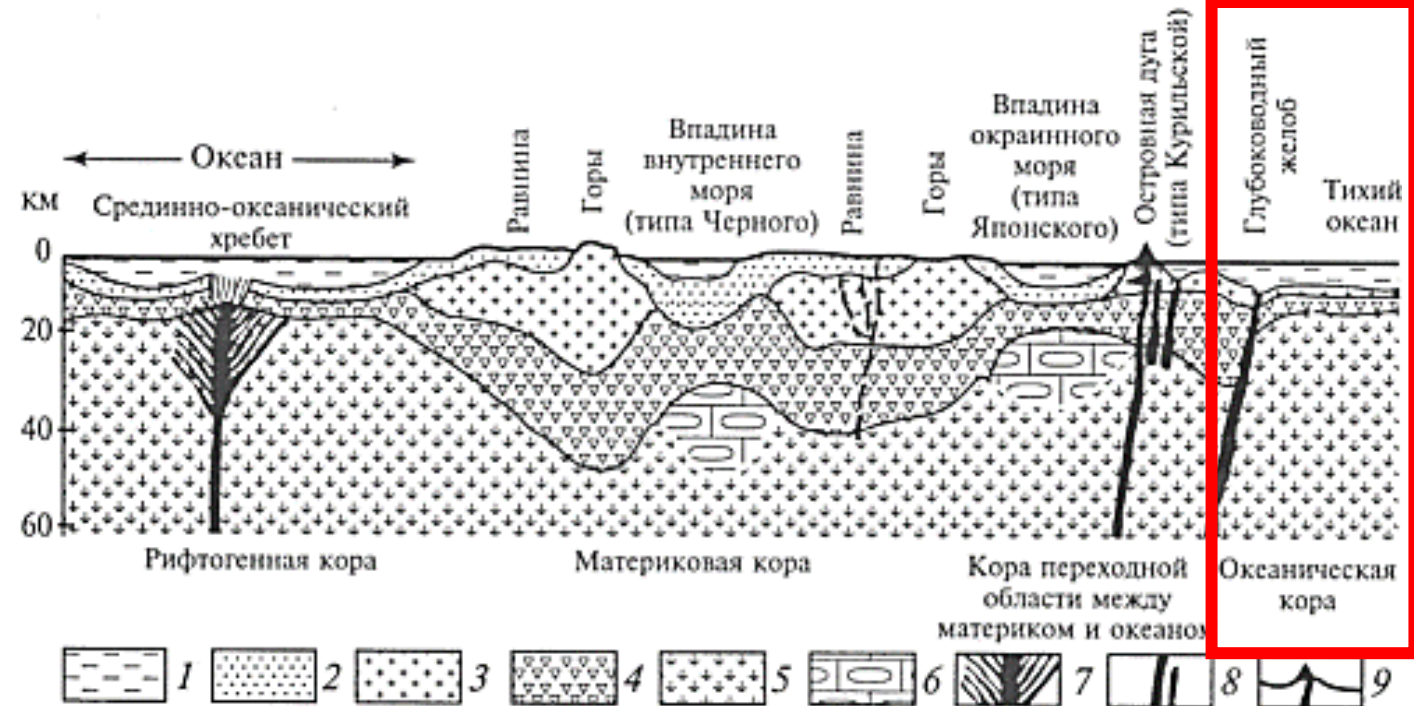
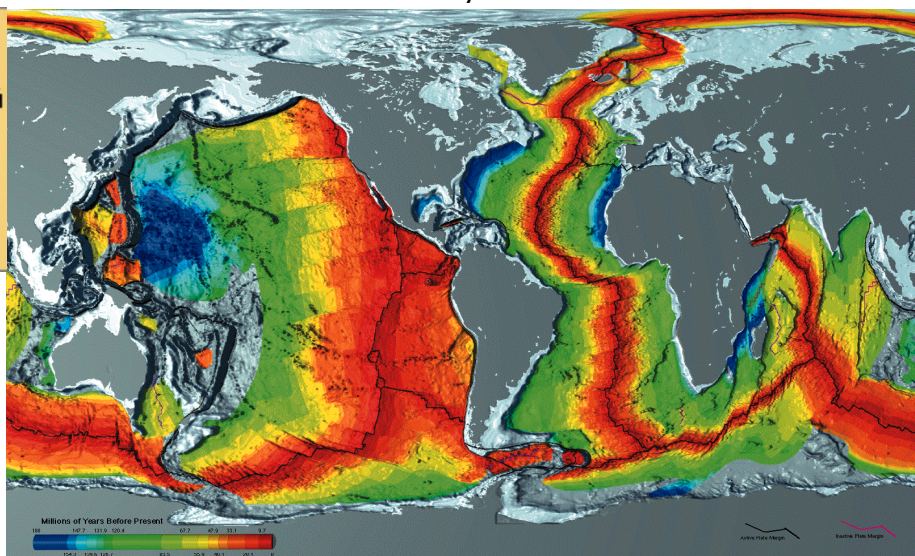
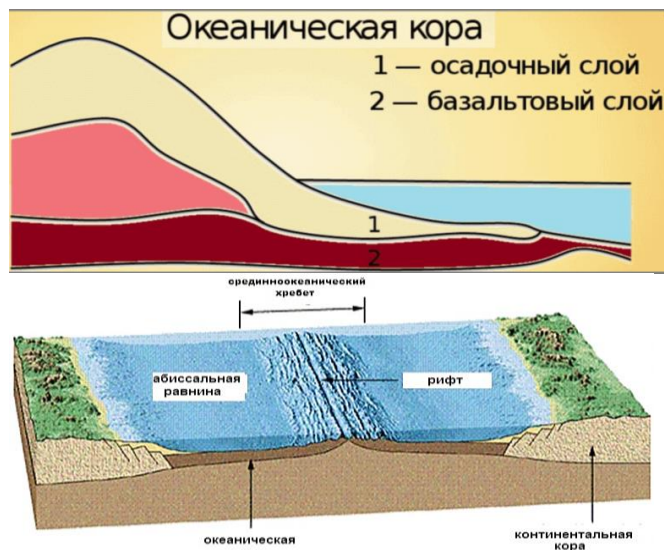
Под котловинами морей и глубоководными желобами нет гранитного слоя, земная кора состоит из осадочного слоя повышенной мощности и базальтового. Гранитный слой появляется только в островных дугах. Средняя мощность геосинклинального типа земной коры 15–30 км



3. Океаническая кора

Соответствует ложу океана, мощность – 5–10 км. Имеет двухслойное (реже – трехслойное) строение

- а) **осадочный слой**, верхний (образован глинисто-кремнисто-карбонатными породами);
- б) **нижний слой** (состоит из полнокристаллических магматических пород основного состава – габбро).
- в) **промежуточный слой** между осадочным и базальтовым слоями (состоит из базальтовых лав с прослоями осадочных пород)



Типы земной коры :

1 - вода, 2 - осадочный слой, 3 - гранитный слой, 4 - базальтовый слой, 5 - мантия Земли, 6 - участки мантии, сложенные породами повышенной мощности, 7 - участки мантии, сложенные породами пониженной мощности, 8 - глубинные разломы, 9 - вулканический конус

Химический состав континентальной и океанической коры

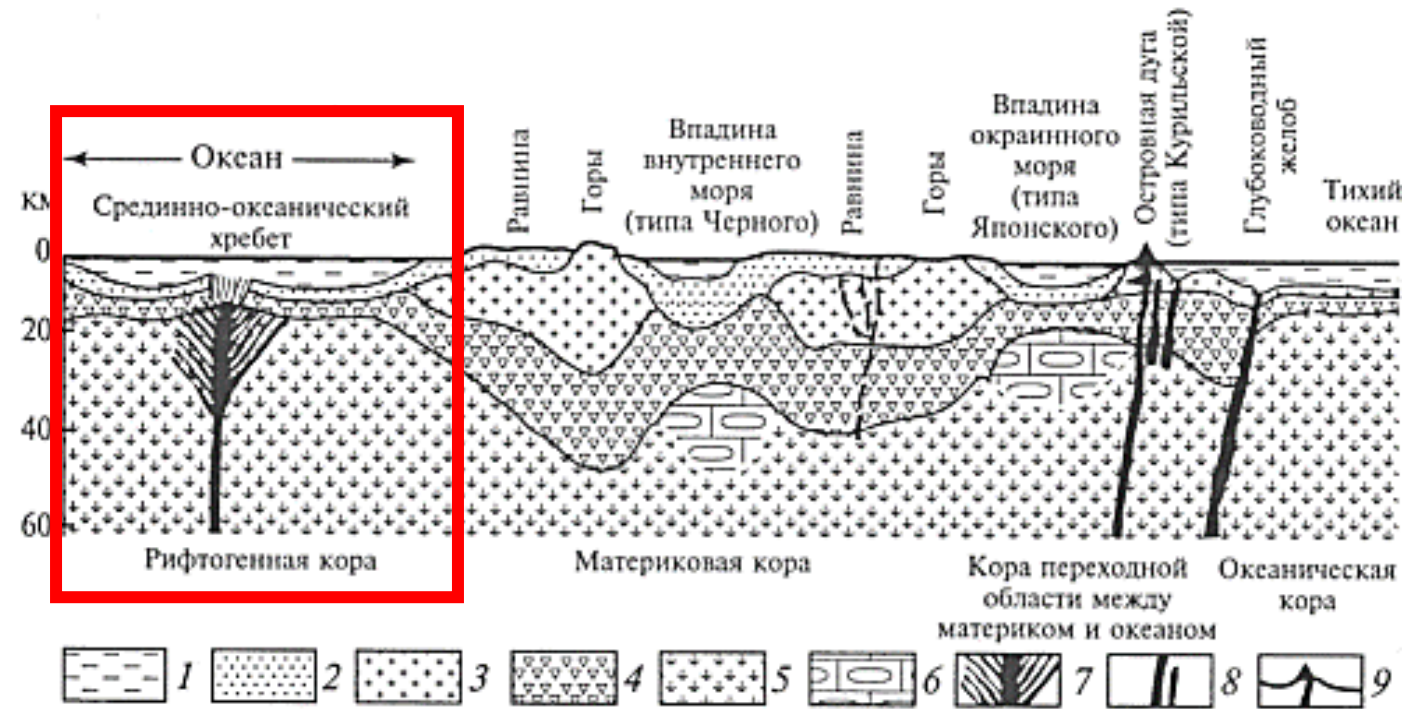
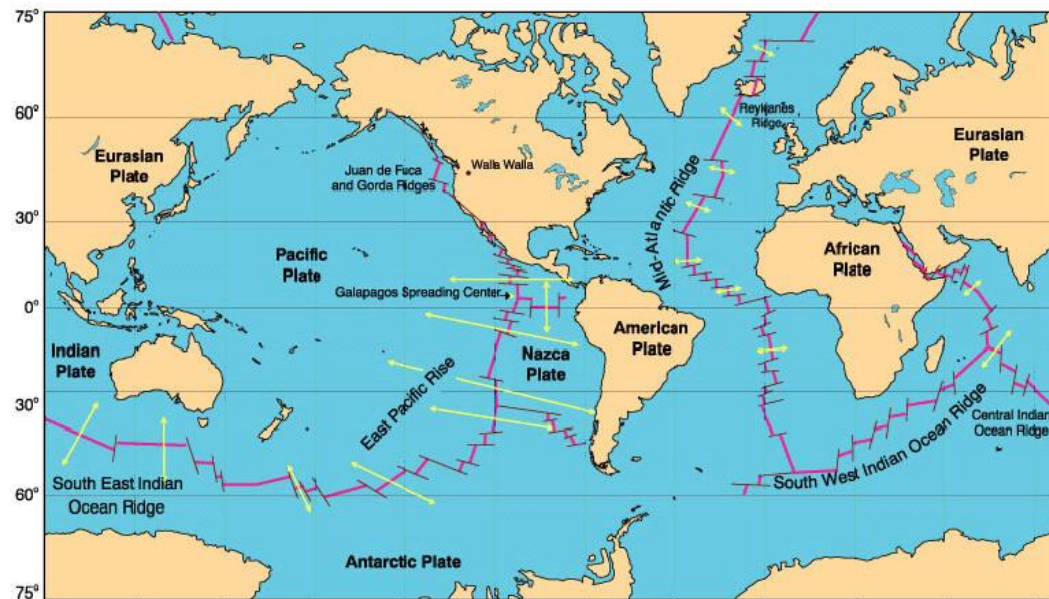
Оксиды	Содержание, %	
	Континентальная кора	Океаническая кора
SiO ₂	60,2	48,6
TiO ₂	0,7	1,4
Al ₂ O ₃	15,2	16,5
Fe ₂ O ₃	2,5	2,3
FeO	3,8	6,2
MnO	0,1	0,2
MgO	3,1	6,8
CaO	5,5	12,3
Na ₂ O	3,0	2,6
K ₂ O	2,8	0,4

4. Рифтогенная кора

Характерна для срединно-океанических хребтов, мощность – 1,5–2 км

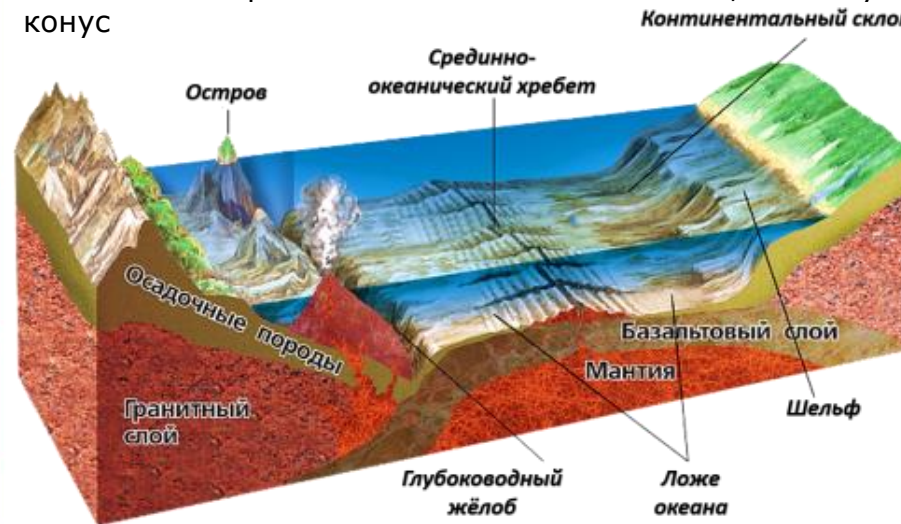
В срединно-океанических хребтах близко к поверхности подходят породы мантии. Мощность осадочного слоя 1–2 км, базальтовый слой в рифтовых долинах выклинивается

Схема океанических рифтов (срединно-океанических хребтов)



Типы земной коры :

1 - вода, 2 – осадочный слой, 3 – гранитный слой, 4 – базальтовый слой, 5 – мантия Земли, 6 – участки мантии, сложенные породами повышенной мощности, 7 – участки мантии, сложенные породами пониженной мощности, 8 – глубинные разломы, 9 – вулканический конус

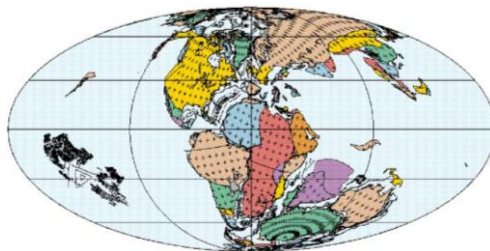
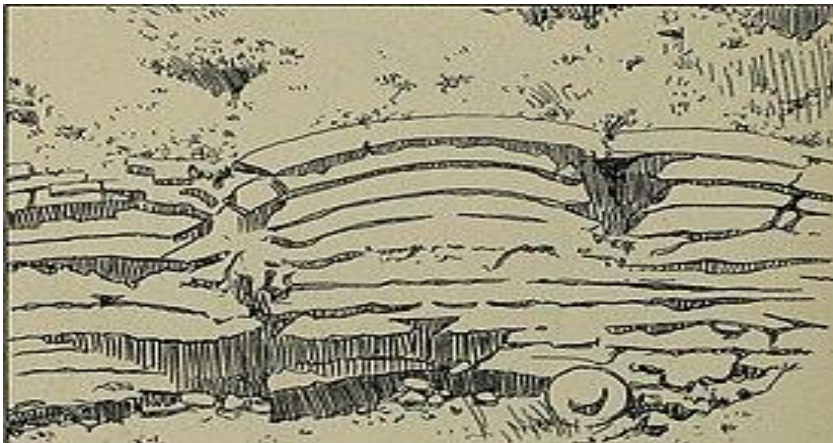


Тектонические концепции

Фиксизм

(от лат. *неподвижный, неизменный*)

Строится на утверждении о фиксированном положении континентов на поверхности Земли и преобладании вертикальных движений в тектонических деформациях пластов земной коры



**Белоусов
Владимир Владимирович
(1907-1990)**

Мобилизм

(от лат. –
подвижный)

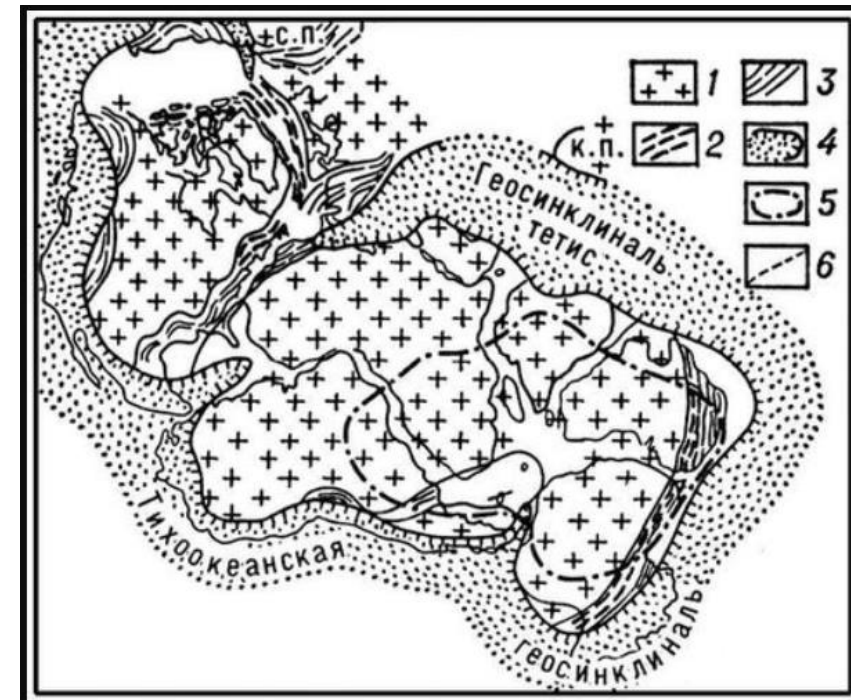
Утверждает, что блоки литосферы движутся и первостепенную роль отводят горизонтальным движениям



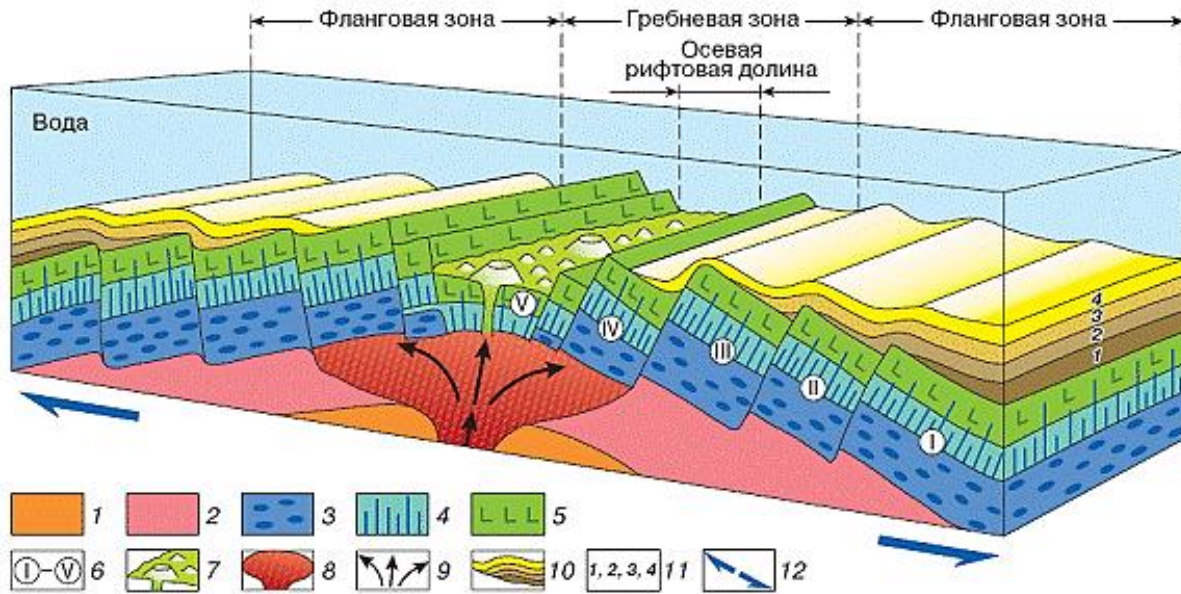
**Альфред Вегенер
(1880-1930)**

«...Материки, сложенные относительно легким веществом, – «сиаль» (силициум-алюминий), «плавали» по поверхности вещества более тяжелого – «сима» (силициум-магний). Первой отделилась и сместилась к западу Ю. Америка, затем Африка, позднее Антарктида, Австралия и С. Америка...»

1-3 – материковые глыбы (показаны в современных контурах береговых линий; 1 – докембрийские платформы, 2 – области нижнепалеозойской складчатости, 3 – области верхнепалеозойской и нижнепалеозойской складчатости); 4 – геосинклинальные области (чередование глубоких морей, вулканических островов и островов, состоящих из складчатых гор); 5 – граница распространения верхнепалеозойских ледников; 6 – разломы (сдвиги и пр.); К. П. – Китайская платформа, С. П. – Сибирская платформа

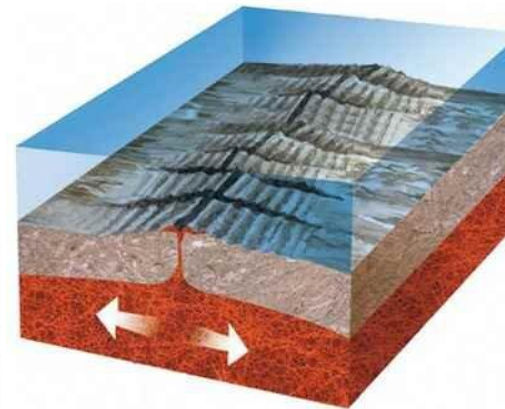
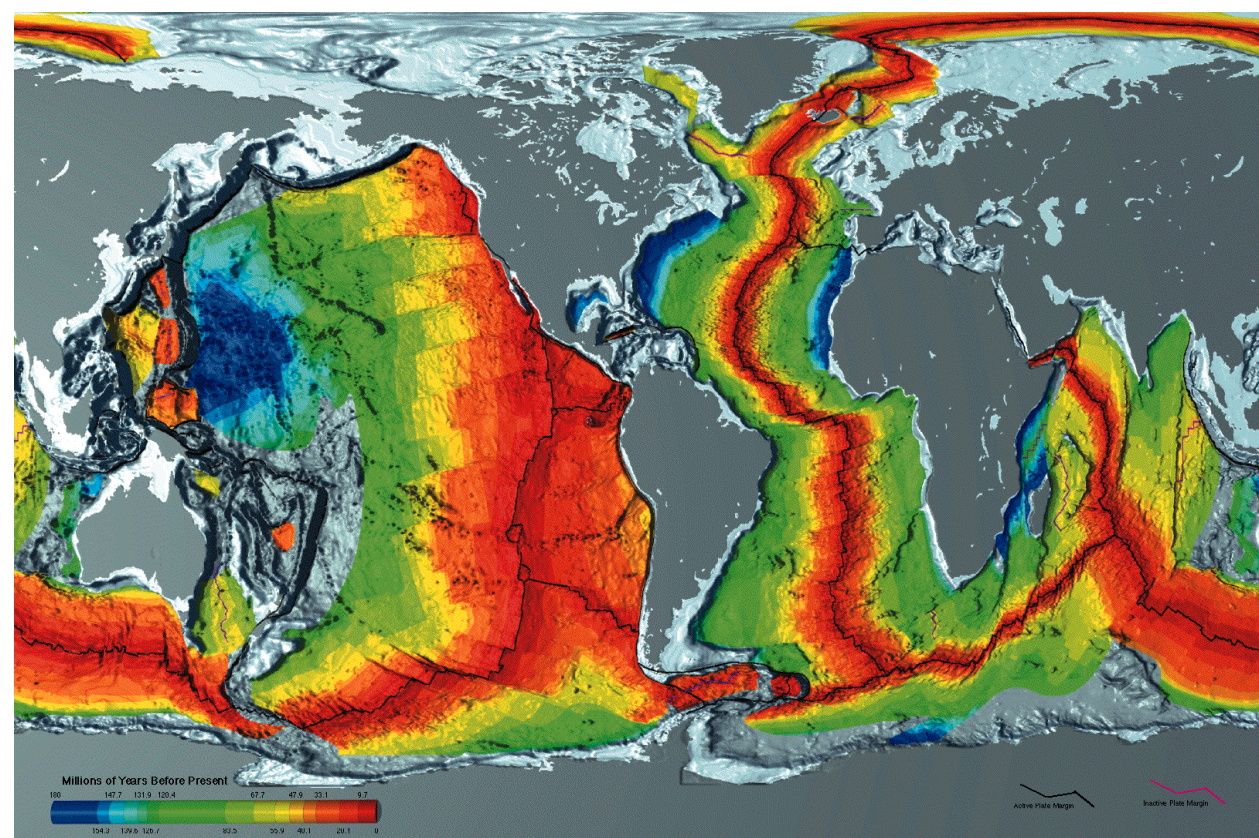


В местах срединно-океанических хребтов литосферные плиты нарастают за счет вещества, поднимающегося из недр, и раздвигаются по оси разломов или рифтов в стороны – **спрединг** (англ. *spreading* – расширение, распространение).

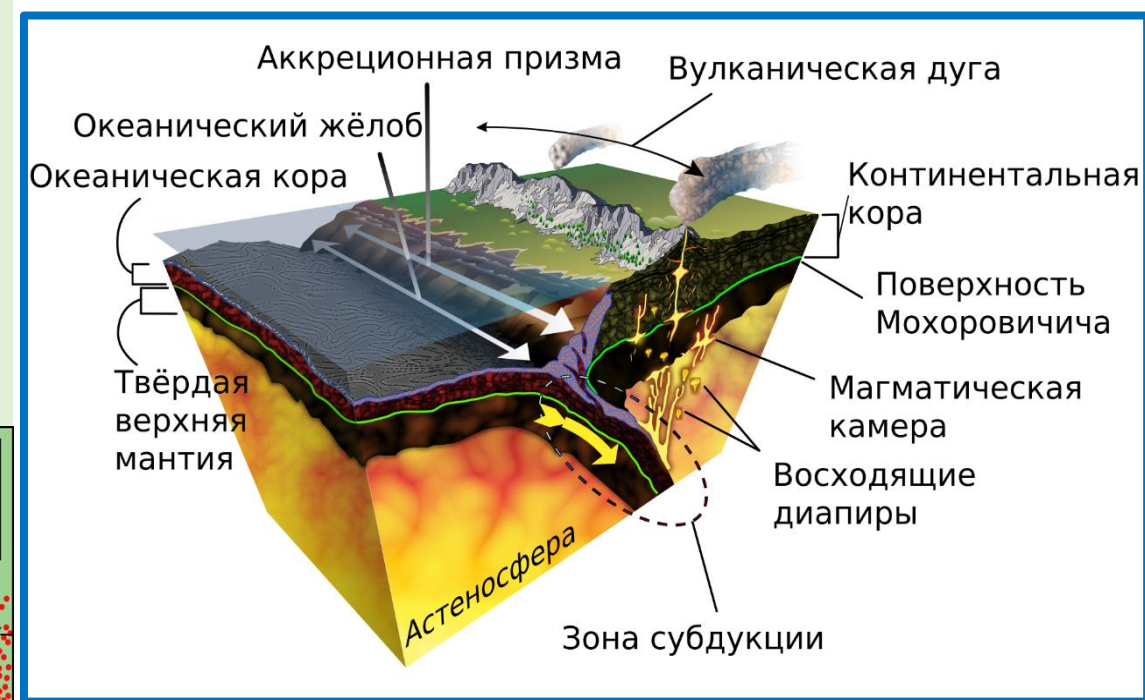
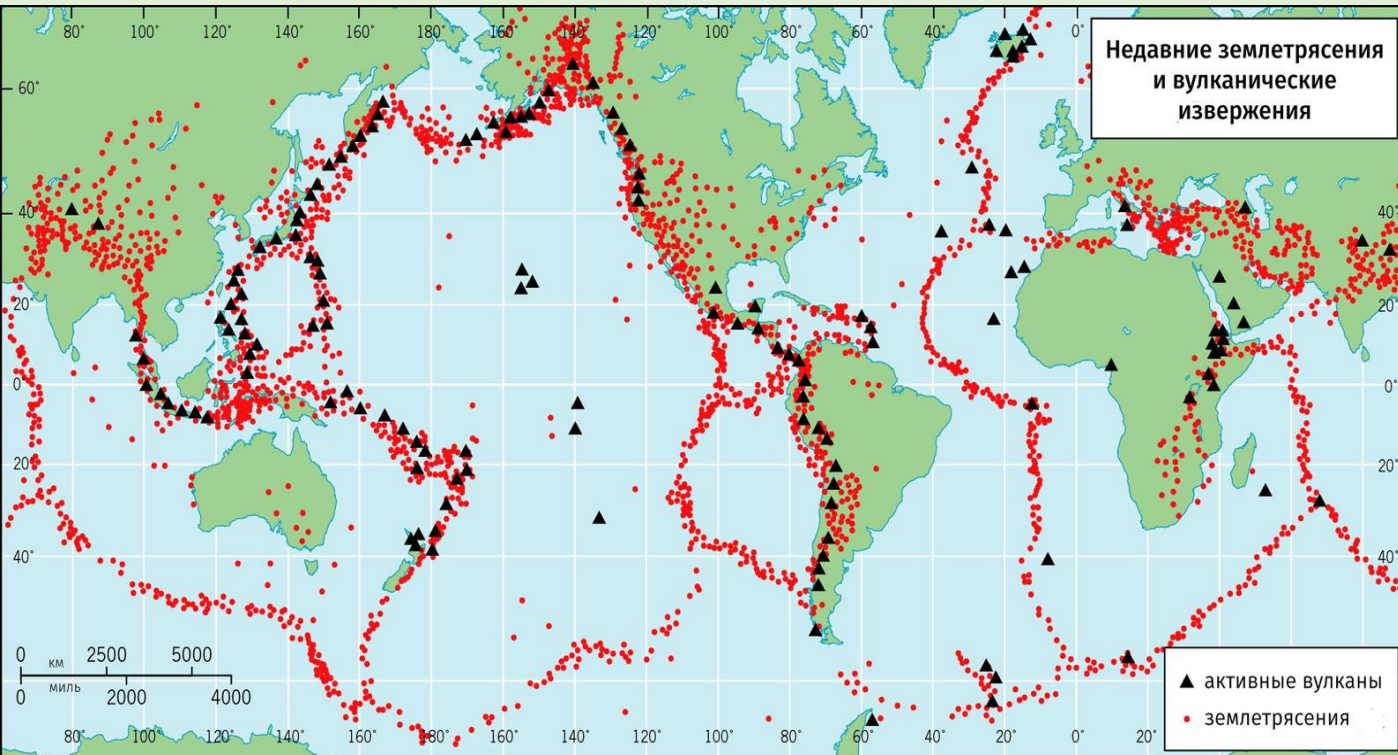


Блок-диаграмма строения фрагмента внутриокеанского спредингового пояса.

1 – астеносфера, 2–7 – разновозрастные комплексы ультраосновных и основных пород океанской коры: 2 – ультраосновные породы, образовавшиеся из нижней части магматического очага (“кумулятивный комплекс”), 3 – существенно основные породы (габброиды), образовавшиеся из верхней части магматического очага, 4 – комплекс параллельных базальтовых даек, 5 – комплекс базальтовых лав, частично пронизанных дайками, 6 – возрастные генерации океанской коры, соответствующие разным стадиям спрединга, 7 – ограниченное сбросами дно осевой рифтовой долины, сложенное базальтовыми лавами с подводными вулканическими аппаратами, 8 – близповерхностный магматический очаг с расплавом основного состава в верхней части и ультраосновного в нижней; 9 – конвективные течения магмы в очаге; 10 – толща океанских осадков; 11 – разновозрастные стратиграфические комплексы океанских осадков; 12 – направления, по которым происходит расширение океанской коры на флангах спредингового пояса



1. Сближаются два участка океанической коры. Край одной плиты несколько поднимается, образуя островную дугу; другой уходит под него, здесь уровень верхней поверхности литосферы понижается, формируется **глубоководный океанический желоб**: Алеутские острова и обрамляющий их Алеутский желоб, Курильские острова и Курило-Камчатский желоб, Японские острова и Японский желоб, Марианские острова и Марианский желоб в Тихом океане; в Атлантическом – Антильские острова и желоб Пуэрто-Рико, Южные Сандвичевы острова и Южно-Сандвичев желоб.



3. Сближаются два участка континентальной коры. При сближении двух участков континентальной коры край каждой из них испытывает складкообразование (характерны разломы, формируются горы, интенсивны сейсмические процессы). Наблюдается и вулканизм, но меньше (земная кора в таких местах очень мощная): Альпийско-Гималайский горный пояс, протянувшийся от Северной Африки и западной оконечности Европы через всю Евразию до Индокитая

2. Участок континентальной коры сближается с участком океанической. Процесс идет аналогично как в случае встречи двух участков океанической коры, но вместо островной дуги образуется мощная цепь гор вдоль берега материка. Так же погружается океаническая кора под материковый край плиты образуя глубоководные желоба (характерны интенсивные вулканические и сейсмические процессы): Кордильеры Центральной Америки и Центральноамериканский желоб; Анды Южной Америки и идущая вдоль берега система желобов – Перуанский и Чилийский.

Основные положения новой глобальной тектоники:

1. Литосфера Земли, включающая кору и самую верхнюю часть мантии, подстилается более пластичной и менее вязкой астеносферой.

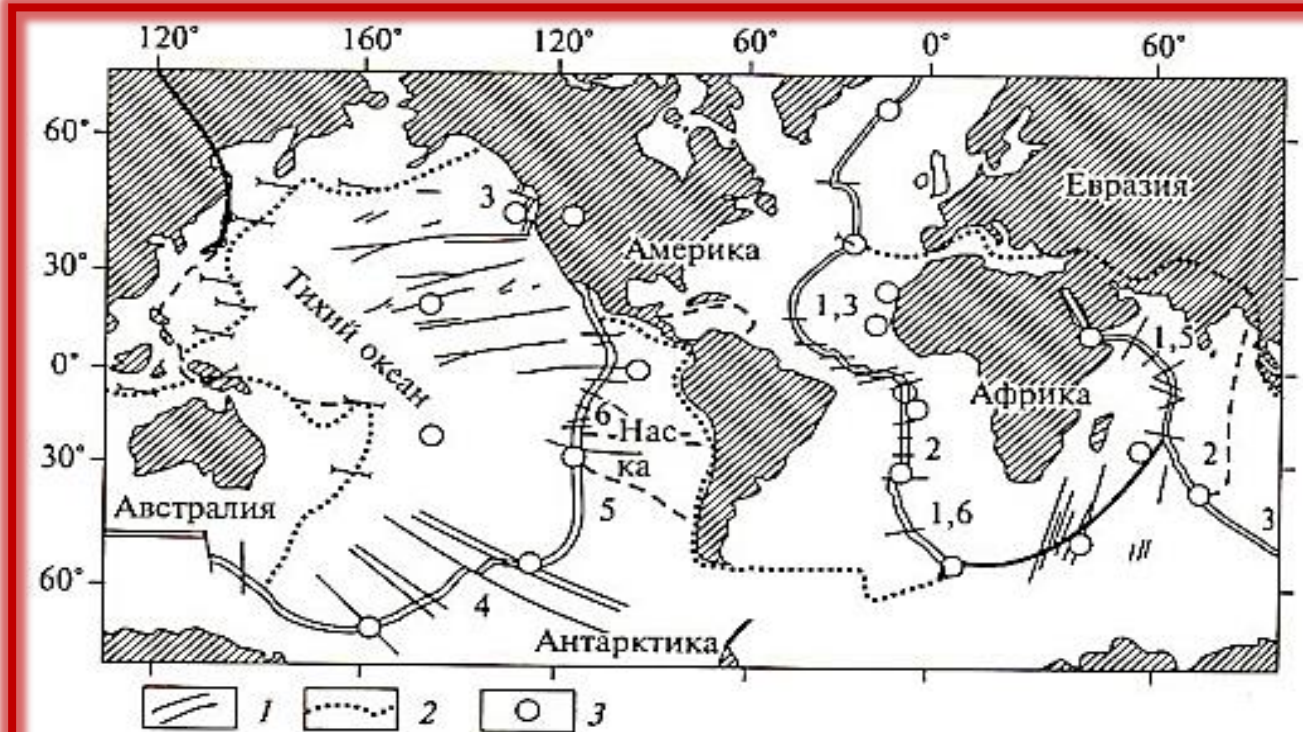
2. Литосфера разделена на ограниченное число крупных, несколько тысяч километров в поперечнике, и среднего размера (около 1000 км) относительно жестких и монолитных плит.

3. Литосферные плиты перемещаются друг относительно друга в горизонтальном направлении; характер этих перемещений может быть трояким:

а) *раздвиг* (спрединг) с заполнением образующегося зияния новой корой океанического типа;

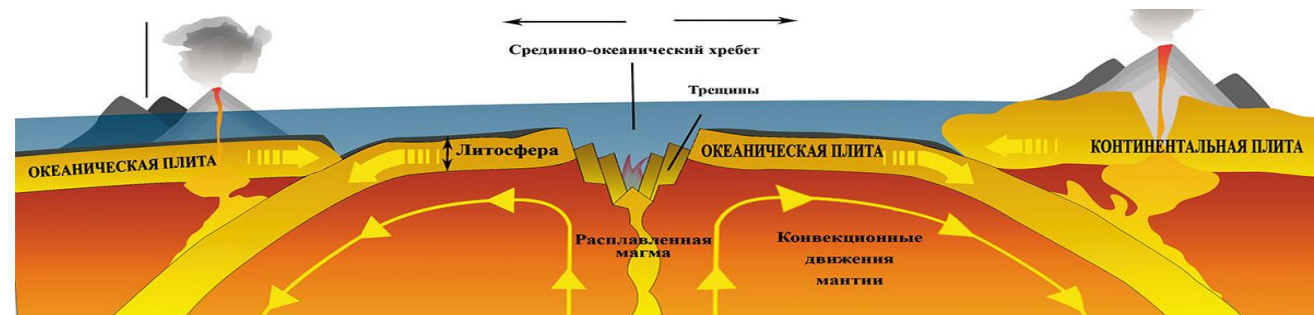
б) *поддвиг* (субдукция) океанской плиты под континентальную или океаническую же с возникновением над зоной субдукции вулканической дуги или окраинно-континентального вулcano-плутонического пояса;

в) скольжение одной плиты относительно другой по вертикальной плоскости т. н. трансформных разломов, поперечных к осям срединных хребтов.



Крупные литосферные плиты:

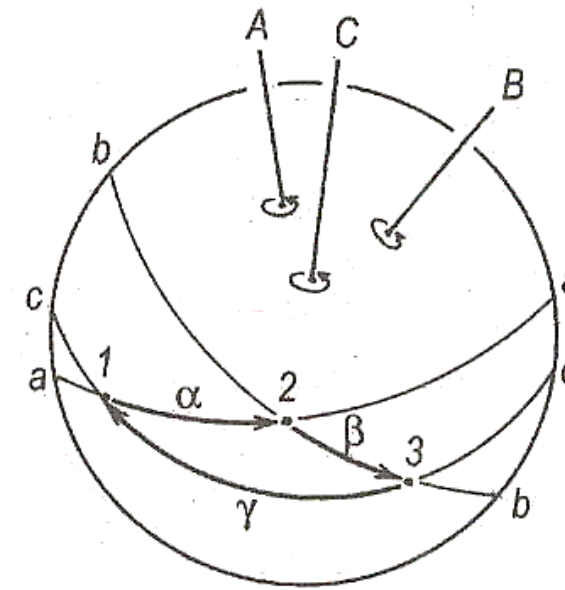
1 – границы расходящихся плит (цифры показывают скорость спрединга, см/год); 2 – границы сходящихся плит (желоба и цепи альпийских гор); 3 – мантийные струи, или вулканизм «горячих точек»



4. Перемещение литосферных плит по поверхности астеносферы подчиняется теореме Эйлера:...перемещение сопряженных точек на сфере происходит вдоль окружностей, проведенных относительно оси, проходящей через центр Земли (места выхода оси на поверхность – полюса вращения, или раскрытия)....

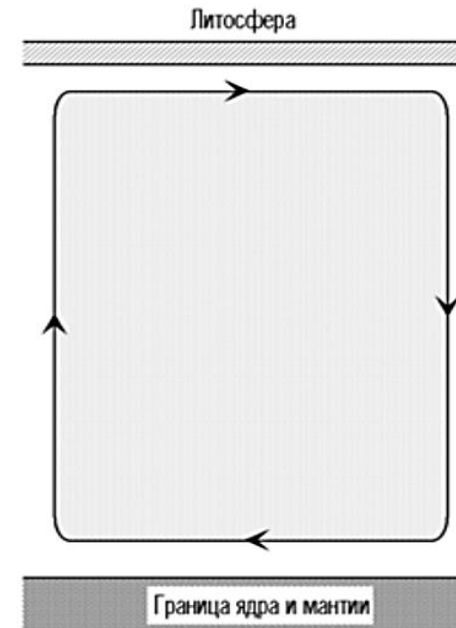
5. В масштабе планеты в целом спрединг автоматически компенсируется субдукцией, т. е. сколько за данный промежуток времени рождается новой океанической коры, столько же более древней океанической коры поглощается в зонах субдукции, благодаря чему объем Земли остается неизменным.

6. Перемещение литосферных плит происходит под действием конвективных течений в мантии, включая астеносферу. Под осями раздвига срединных хребтов образуются восходящие течения, которые превращаются в горизонтальные на периферии хребтов и в нисходящие в зонах субдукции на окраинах океанов. Сама конвекция имеет своей причиной накопление тепла в недрах Земли вследствие его выделения при распаде естественно-радиоактивных элементов и изотопов.

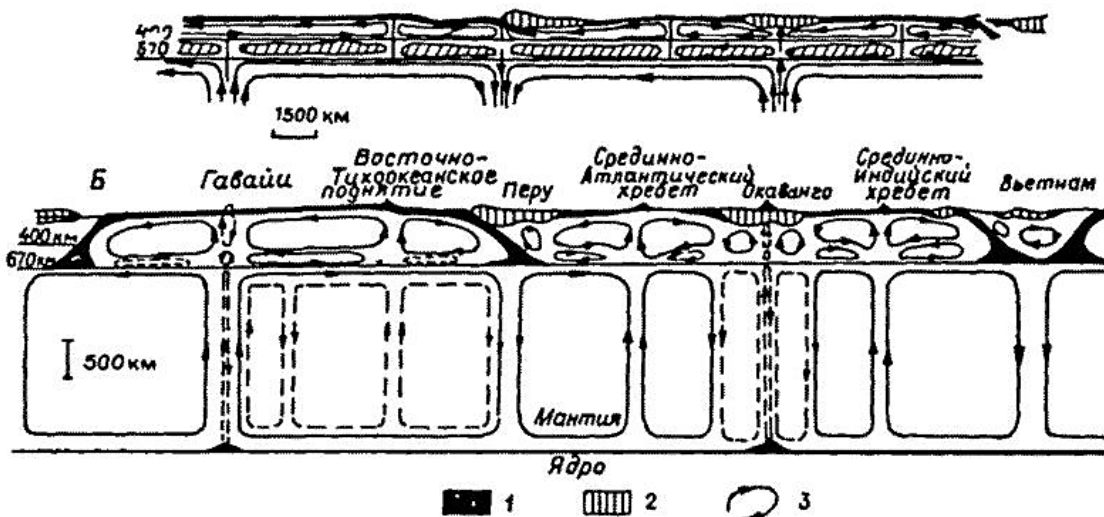
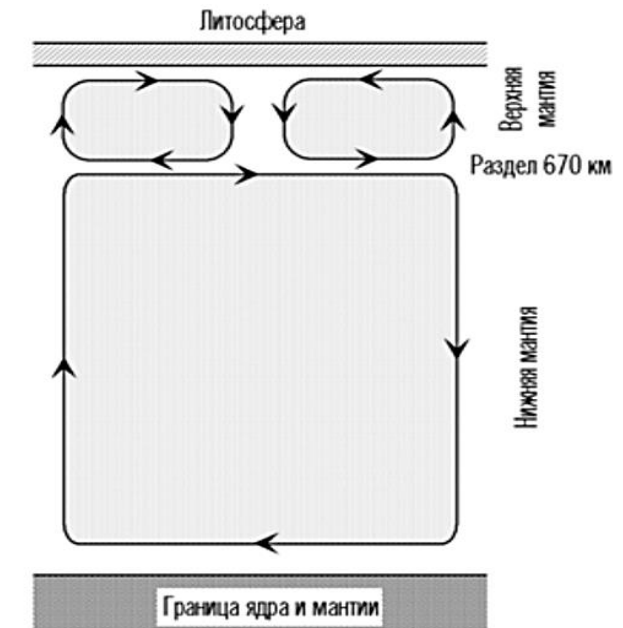


**Леонард Эйлер
(1707-1783)**

**Сквозьмантийная
конвекция**



**Раздельная конвекция
в верхней и нижней мантии**

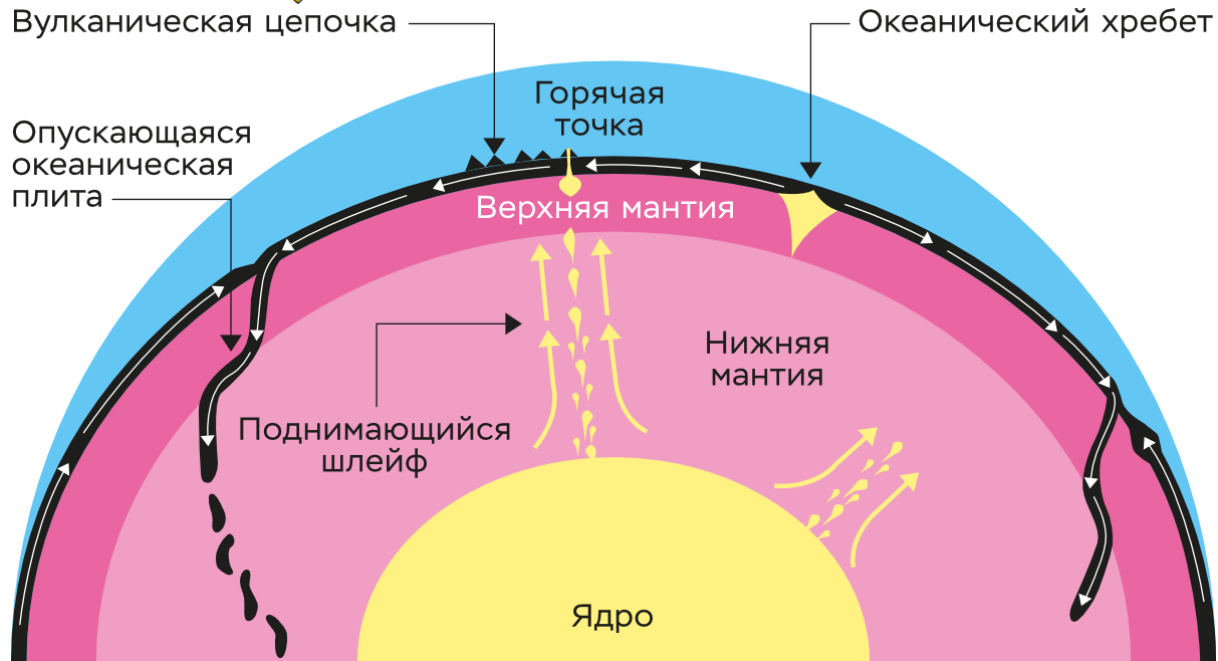
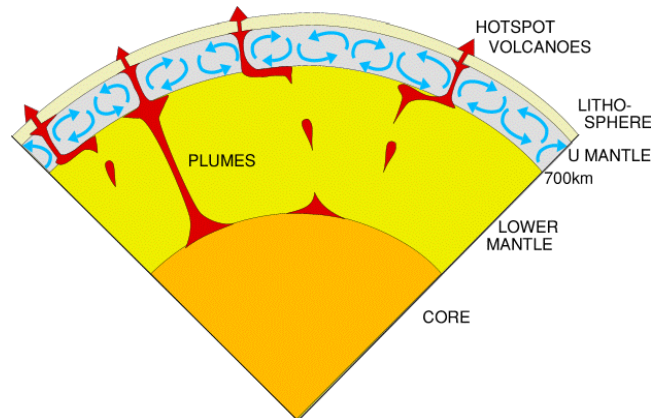


1 – океанская литосфера; 2 – континентальная литосфера; 3 – конвективные течения в астеносфере и нижней мантии

«Плюмовая» тектоника, или гипотеза плюмов

Основана на новых геологических материалах о наличии вертикальных токов (струй) расплавленного вещества, поднимающихся от границ самого ядра и мантии к земной поверхности.

Опирается на представления об эндогенной энергии, сосредоточенной в нижних горизонтах мантии и во внешнем жидком ядре планеты. Высокоэнергетические струи (**плюмы**) пронизывают мантию и устремляются в виде потоков в земную кору, определяя тем самым все особенности тектоно-магматической деятельности



Концепция центробежно-планетарных мельниц

Неравномерным распределением эндогенной энергии Земли, как и периодизацией некоторых экзогенных процессов, **управляют внешние по отношению к планете (космические) факторы**. Из них наиболее действенной силой, непосредственно влияющей на геодинамическое развитие и преобразование вещества Земли служит эффект гравитационного воздействия Солнца, Луны и других планет, с учётом инерционных сил вращения Земли вокруг своей оси и её движения по орбите.

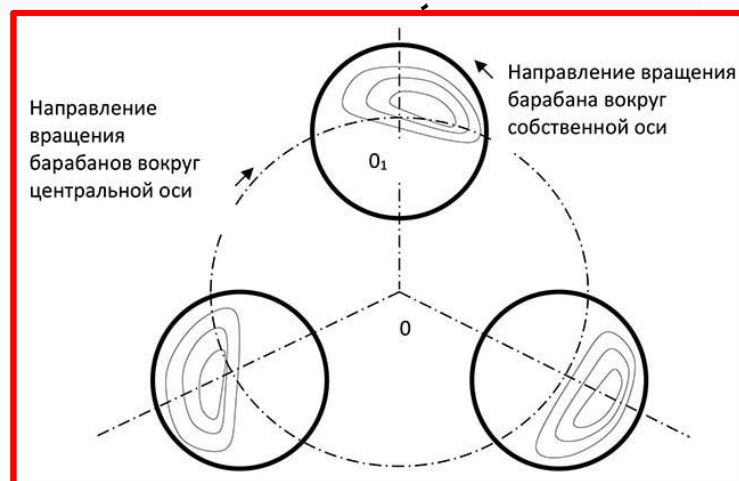
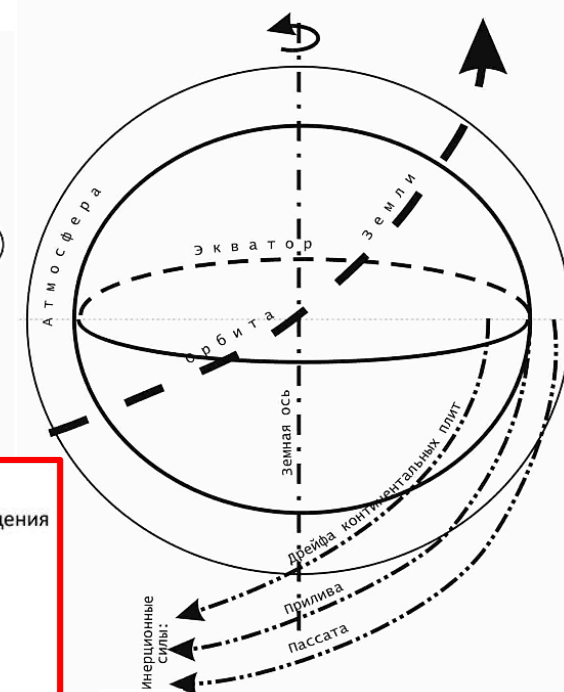
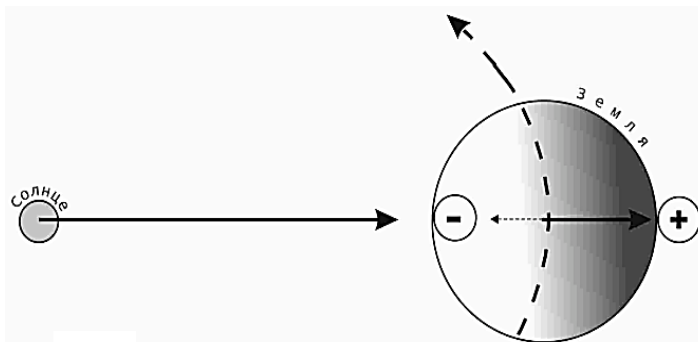
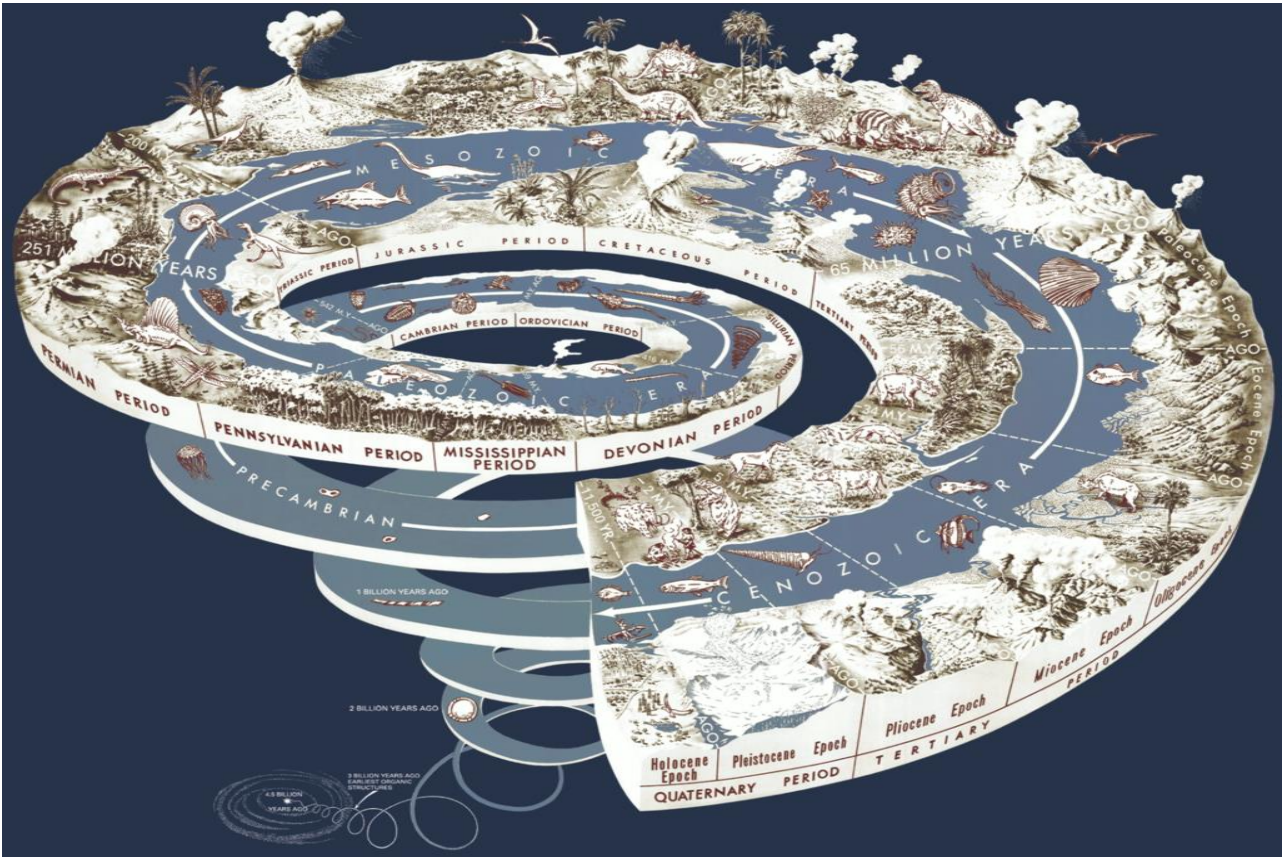


Схема планетарного центробежно-инерционного механизма.

Молчанов, В.И. Центробежно-инерционный механизм глобальной тектоники литосферных плит / В.И. Молчанов, В.В. Параев // Вестник отделения наук о Земле РАН. Электронный научно-информационный журнал. – № 1(22). – 2004

3. Геохронология. Основные эпохи горообразования в истории Земли

Геохронология – это обозначение времени и последовательности образования горных пород. Если залегание горных пород не нарушено, то каждый слой моложе того, на котором он залегает. Верхний слой образовался позднее всех лежащих ниже.



Геохронологическая таблица					
Фанерозой	Эры, их обозначения, интервал, млн лет	Периоды, индексы	Начало, млн лет назад	Эпохи горообразования	Основные события в развитии органической жизни
	Кайнозойская KZ (современность — 67)	Четвертичный Q	1,8	Альпийская	Появление человека. Господство теплокровной фауны. Расцвет покрытосеменных растений
		Неогеновый N	25		
		Палеогеновый P	67		
	Мезозойская MZ (67 — 230)	Меловой K	137	Мезозойская (киммерийская)	Появление первых цветковых растений. Появление птиц и млекопитающих. Господство динозавров и расцвет голосеменных растений
		Юрский J	195		
		Триасовый T	230	Герцинская	Появление первых пресмыкающихся. Выход живых организмов на сушу. Господство морских кораллов, трилобитов, земноводных. Бурное развитие рыб. Расцвет древовидных папоротников и плавунов
	Палеозойская PZ (230 — 570)	Пермский P	285		
		Каменно-угольный C	350		
		Девонский D	400		
		Силурийский S	440		
		Ордовикский O	500		
Кембрийский Є	570	Каледонская			
Протерозойская PR (570 — 2600)	Вендский V		650	Байкальская	Появление многоклеточных, примитивных морских животных
	Рифейский R	1650			
	Архейская AR (2600 — 4600)		2600		Господство бактерий и одноклеточных водорослей
		4600			



СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ