

Глубинное строение Земли



Методы изучения глубинного строения Земли

Прямые: методы непосредственного изучения горных пород и структур в естественных обнажениях и искусственных горных выработках (разведочных канавах, карьерах, буровых скважинах и т.д.). В настоящее время не существует технических средств, позволяющих проникать в недра Земли на сотни и тысячи километров.

Косвенные: основанные на космологических и геофизических данных, то есть на результатах изучения космических тел (в первую очередь, метеоритов и Луны) или физических полей Земли, а также на основе моделирования.



Геофизические методы:

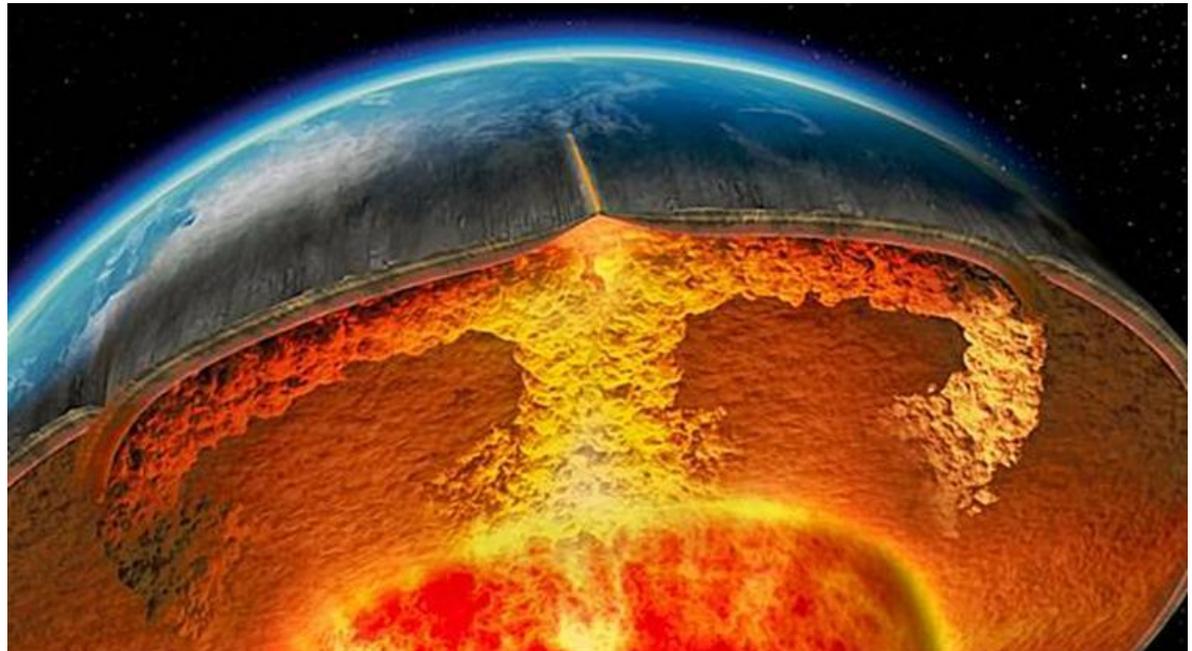
Сейсмические – основанные на регистрации упругих колебаний, вызванных землетрясениями или искусственными взрывами.

Гравиметрические – основанные на изучении поля силы тяжести.

Магнитометрические – изучающие магнитное поле Земли.

Геотермические – изучающие тепловое поле планеты и плотность теплового потока на ее поверхности.

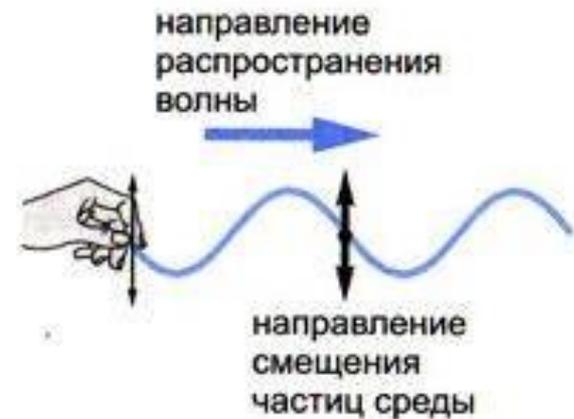
Электрометрические – изучающие электропроводность земных недр.



Важнейшим из таких методов является сейсмический, использующий кратковременно возникающее при землетрясениях поле упругих сейсмических волн, в течение 10 – 20 минут пронизывающих практически всю нашу планету. Возникнув в очаге землетрясения, сейсмические волны распространяются с определенной скоростью по всем направлениям путем упругих перемещений частиц среды. По характеру распространения волны делятся на **продольные и поперечные. Продольные волны имеют большую скорость, чем поперечные, причем последние не распространяются в жидкой среде, где упругое сопро**



1. Продольные волны

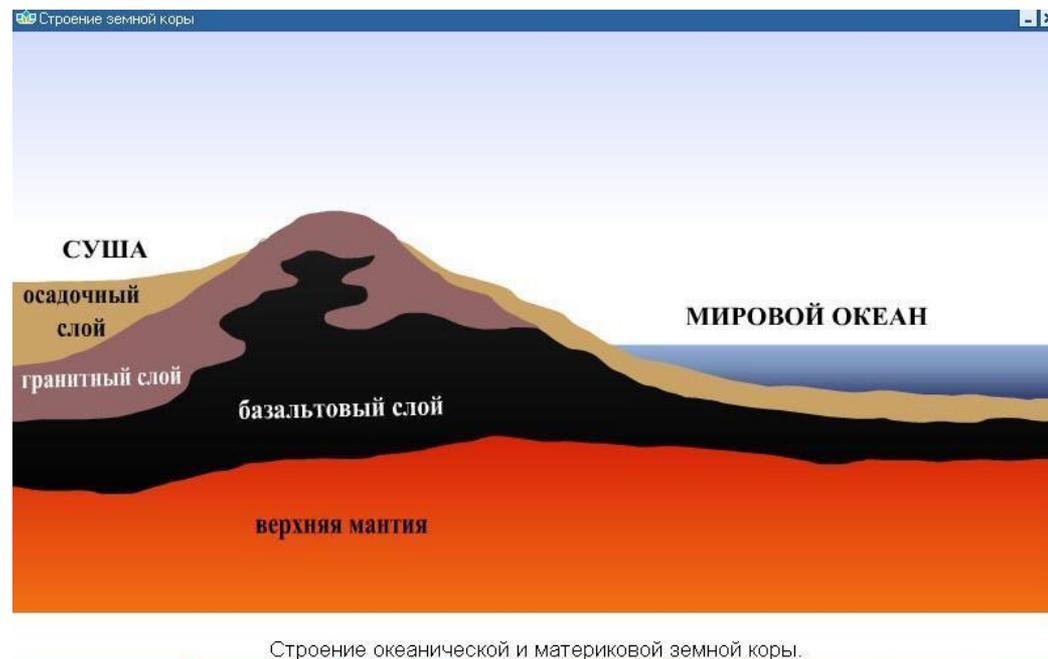


2. Поперечные волны

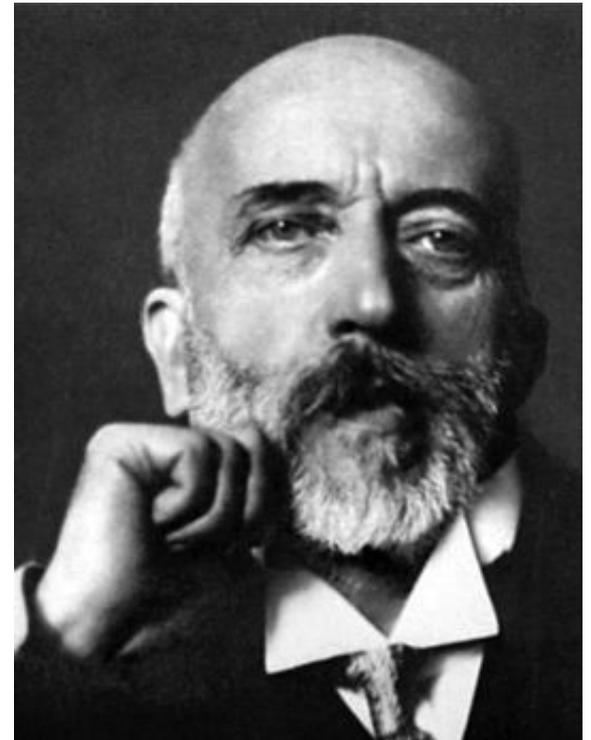
В целом сейсмические волны подчиняются законам оптики – на границах раздела сред с различными скоростями распространения упругие волны отражаются и преломляются. В результате наряду прямыми волнами регистрируются отраженные и преломленные волны. Отражение и преломление волн на границах раздела является довольно надежным источником информации о положении этих границ и широко используется для изучения внутреннего строения Земли.



Важным источником данных о внутреннем строении Земли являются землетрясения, порождающие сейсмические волны. По сейсмологическим данным в Земле сегодня выделяют около двух десятков границ раздела, в целом свидетельствующих о концентрически расслоенном строении ее недр. Основными из этих границ являются две: граница Мохоровичича (Мохо или просто М) на глубине 30 -70 км на континентах и на 5- 10 км. под дном океанов, а также поверхность Вихерта – Гутенберга на глубине 2.900 км. Эти границы делят нашу планету на три основные оболочки:



Андрия Мохоровичич -хорватский геофизик и сейсмолог. Преподаватель метеорологии в Навигационном училище в Бакаре и Загребе (с 1880). С 1897 года — приват-доцент, а с 1910 года — профессор Загребского университета. Директор Государственного управления метеорологической и геодинамической службы и обсерватории в Загребе (1892—1921). В 1909 году Мохоровичич установил существование поверхности раздела между земной корой и мантией Земли, получившей название поверхность Мохоровичича. Разработал методику регистрации землетрясений и предложил конструкцию ряда геофизических приборов.



Иогáнн Эмíль Вíхерт — немецкий физик. Член-корреспондент Берлинской АН (1911), иностранный член-корреспондент Петербургской АН. Независимо от Дж. Дж. Томсона открыл электрон. Геофизические работы посвящены исследованию распределения масс внутри Земли, формы Земли, земного магнетизма, землетрясений, изучению распространения сейсмических волн при землетрясениях. В 1897 году установил существование ядра Земли. По инициативе Вихерта в 1922 году было основано Немецкое сейсмологическое общество (ныне Немецкое геофизическое общество); он же был его первым председателем.



Бено Гутенберг — немецко-американский сейсмолог. Гутенберг родился в Дармштадте, Германия. Получил докторскую степень в области физики в Геттингенском университете в 1911 году. Его руководителем был Эмиль Вихерт. Во время Первой мировой войны служил в немецкой армии в качестве метеоролога. в 1930 году принял должность профессора геофизики в Калифорнийском технологическом институте в Пасадине. Гутенберг, в сотрудничестве с Чарльзом Фрэнсисом Рихтером, сделал сейсмологическую лабораторию Калифорнийского технологического института ведущим мировым центром по изучению сейсмологии. Гутенберг оставался директором сейсмологической лаборатории до 1957 года.

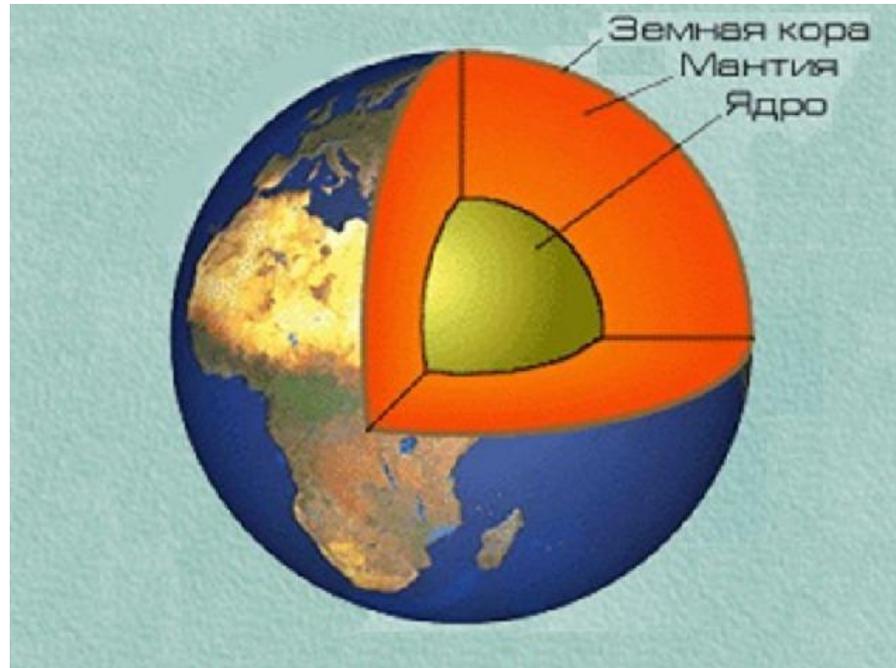


Земная кора – внешняя каменная оболочка земли, расположенная над поверхностью Мохоровичича

Мантия Земли – промежуточная силикатная оболочка, ограниченная поверхностью Мохоровичича (вверху) и Вихерта – Гутенберга (внизу)

Ядро Земли – центральное тело нашей планеты, расположенное ниже границы Вихерта -Гутенберга.

Новые данные, полученные в середине 20 –го века, позволили разделить ядро на внешнее и внутреннее, а мантию на нижнюю и верхнюю.



Земная кора образует самую верхнюю твердую оболочку, которая по отношению к общему объему планеты (средний радиус равен 6.371 км) представляет собой тонкую «скорлупу». Состав, строение и мощность коры континентов и океанов различны, что дало основание для выделения ее главных типов: континентального, океанического и двух переходных.



Мантия Земли – является самой крупной геосферой –она составляет 83% объема планеты и 66% ее массы. Граница между корой и мантией известна как поверхность Мохоровичича. В океанах эта граница несет следы сильных преобразований, и можно предположить, что вдоль не происходят значительные подвижки и даже срывы коры относительно мантии. На континентах переход от коры к мантии носит более сложный характер, в ряде случаев обнаруживается не одна, а несколько границ, которые интерпретируются как перескок поверхности Мохо с одного уровня на другой.

По значениям физических параметров мантия делится на верхнюю (от Мохо до границы на глубине 670 км.) и нижнюю (от 670 км. до 2.900 км.).



Верхняя мантия имеет хорошо фиксирующийся внутренний сейсмический раздел, проходящий на глубине 410 км и разделяющий ее на два слоя.

Верхний слой, залегающий от поверхности Мохо до глубины 410 км. называется слоем Гутенберга (слой В). Он характеризуется замедлением темпа нарастания скорости прохождения сейсмических волн с глубиной. Эта часть слоя Гутенберга получило название **астеносфера** (слабая оболочка. Астеносфера - слой в верхней мантии планеты Более пластична, чем соседние слои). На Земле кровля астеносферы лежит на глубинах 100–120 км под материками и 50–60 км под океанами. Нижняя граница земной астеносферы проходит на глубине 250–350 км, по другим данным — до 200 км. Верхняя часть слоя Гутенберга вместе с земной корой образует единую жесткую оболочку – **литосферу**, располагающуюся на астеносфере.

Литосфера и астеносфера составляют **тектоносферу** – главную область проявления тектонических процессов Земли.

Ниже слоя Гутенберга в интервале 410 – 670 км. расположен слой Голицына, названный так в честь русского сейсмолога Б.Б. Голицина (слой С), отличающийся весьма резким нарастанием сейсмических волн с глубиной. Его выделяют еще в качестве средней мантии или **мезосферы** – переходной зоны между верхней и нижней мантией. Петрологические и экспериментальные данные позволяют считать, что этот слой сложен преимущественно гранатом. Важным компонентом химического состава этого слоя является вода, содержание которой, по некоторым оценкам составляет около 1 %.

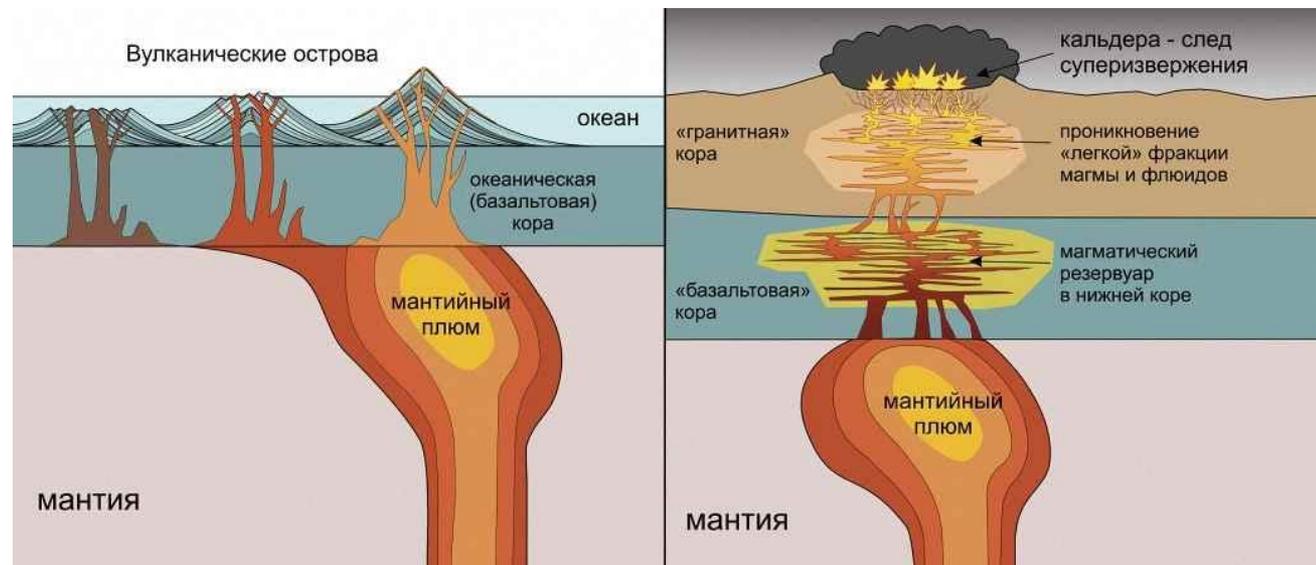


Нижняя мантия начинается с глубины 670 км и простирается по радиусу Земли до 2.900 км. Эксперименты по поведению вещества, отвечающему мантийному при давлениях и температурах показывают, что нижняя мантия сложена в основном перовскитом и магнезиовюститом $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O}$ - продуктами дальнейшего изменения минералов, слагающих среднюю мантию.

Перовскит в кальците. Ахматовская
копь, Южн.Урал. Из собрания
ФММ. Фото: А.А. Евсеев



Нижняя мантия состоит из двух слоев: D' (670 – 2.700 км.) и D''(2.700 – 2.900 км.). Верхний характеризуется дальнейшим увеличением скорости продольных и поперечных волн с глубиной. Скорость распространения сейсмических волн в нем достигает максимальной для планеты значений: для продольных волн около 13,6 км/с, для поперечных приблизительно 7,3 км/с. Слой D'', находящийся в непосредственном соприкосновении с внешним ядром, испытывает его влияние, поскольку температура в ядре значительно превышает температуру мантии. Предполагается, что этот слой может порождать огромные, направленные к поверхности Земли сквозьмантийные тепломассопотоки, называемые плюмами. Они могут проявляться на поверхности в виде крупных вулканических областей, таких, как Гавайские острова, Исландия и тд.



Ядро Земли занимает около 17% ее объема и составляет 34 % массы планеты. На границе ядра и мантии, приуроченной к границе Вихерта – Гутенберга, отмечается снижение скорости продольных волн. Поперечные сейсмические волны ниже этой границы не проходят. В строении ядра выделяют три элемента: **внешнее ядро** (слой E), **внутреннее ядро** (слой G) и **переходную оболочку** (слой F).



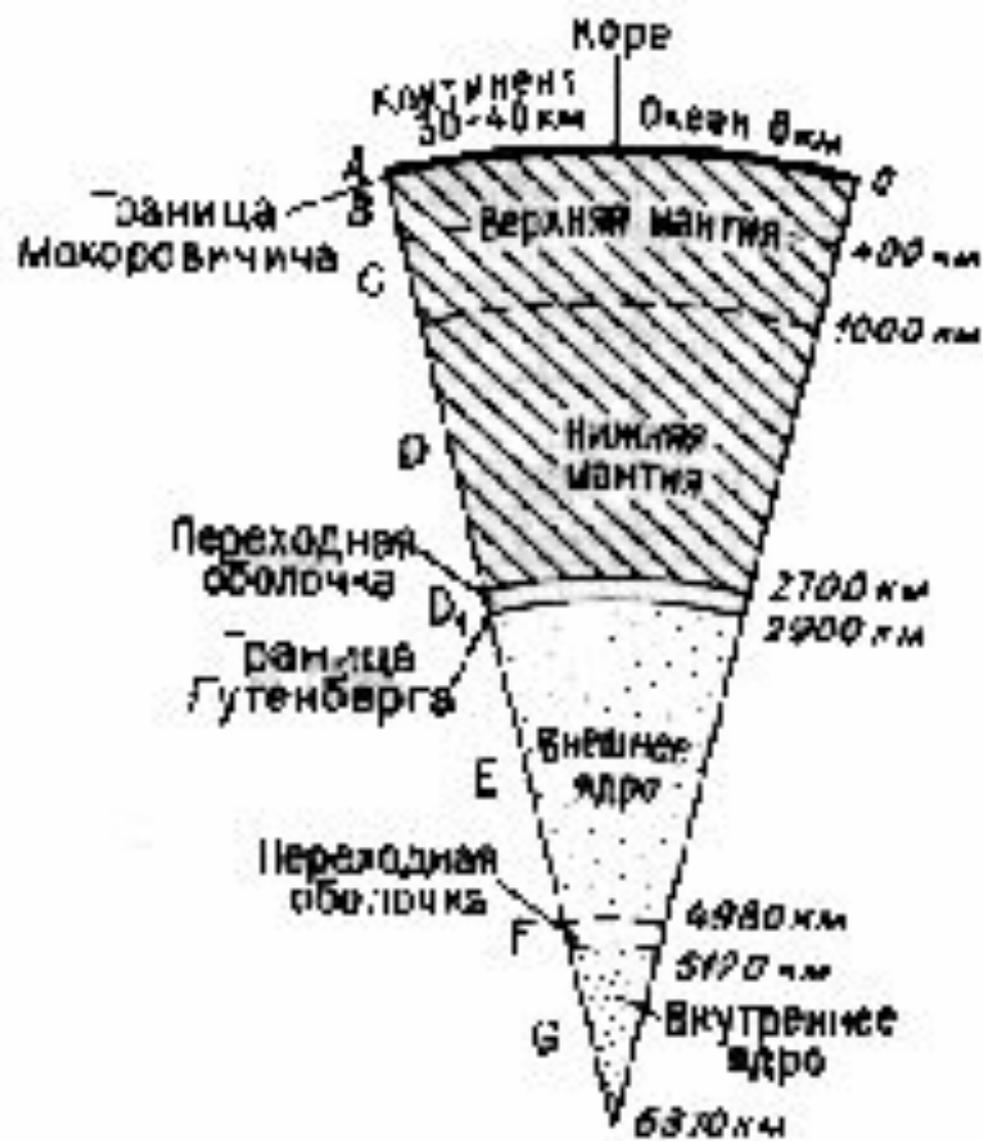
Геосферы Земли	Подразделения геосфер	Условное обозначение
Земная кора	1. осадочный слой 2. «гранитный» («второй») слой 3. «базальтовый» слой	A
мантия	1) верхняя: а) субстрат; б) астеносфера; в) слой Голицына 2) нижняя	B C D
ядро	1. внешнее переходный слой 2) субъядро	E F G

Внешнее ядро мощностью порядка 2080 км не пропускает поперечные сейсмические волны. Слагающее его вещество ведет себя как жидкость. В настоящее время большинство ученых полагают, что внешнее ядро состоит из расплава Fe_2O или расплавленного железа с примесью Ni и легких элементов, таких, как Si, O, S и H.

Внутреннее ядро – железно – никелевое, возможно, с некоторой примесью серы и кислорода. Температура здесь оценивается в 6.500 – 6.800 °С. **Переходный слой** (в наши дни выделяемый с некоторым сомнением) между внутренним и внешним ядром, вероятнее всего, состоит из сернистого железа – троилита (FeS).

Внутреннее ядро находится в стеклообразном состоянии. Скорее всего, ядро земли представляет собой тело с плавно нарастающей вязкостью вплоть до стекольных значений





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!











