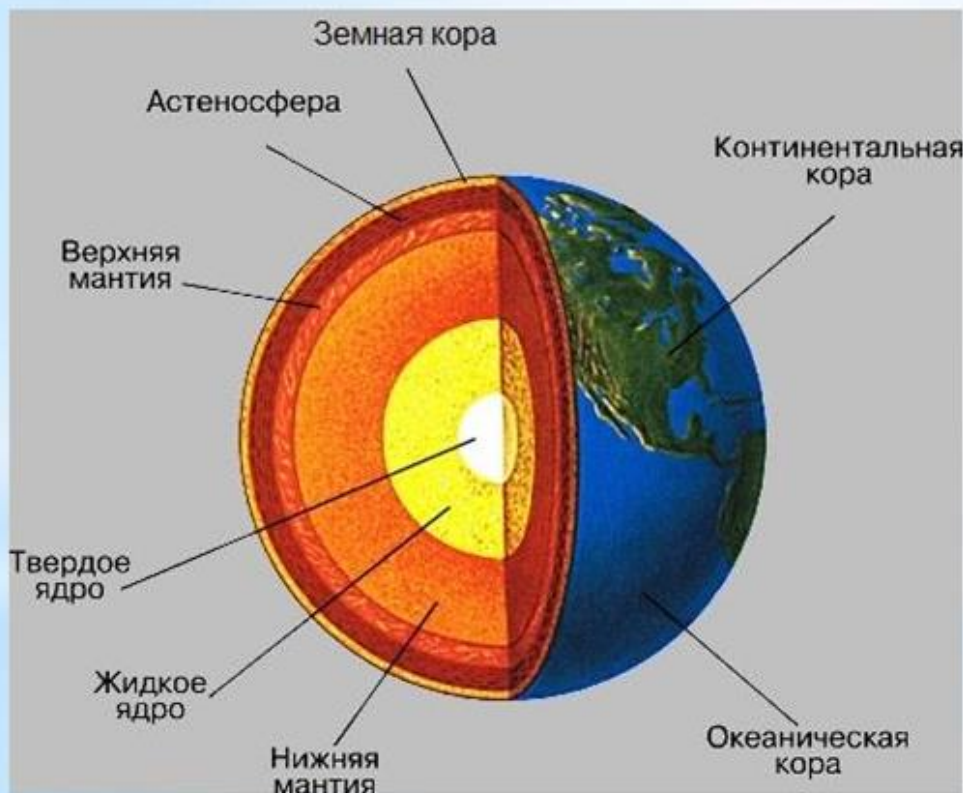


Тема 6. Оболочечное строение Земли.

* В строении Земли выделяют три основных слоя: земную кору, мантию и ядро.

* Земная кора в масштабе Земли это тонкая пленка её средняя мощность около 35 км.

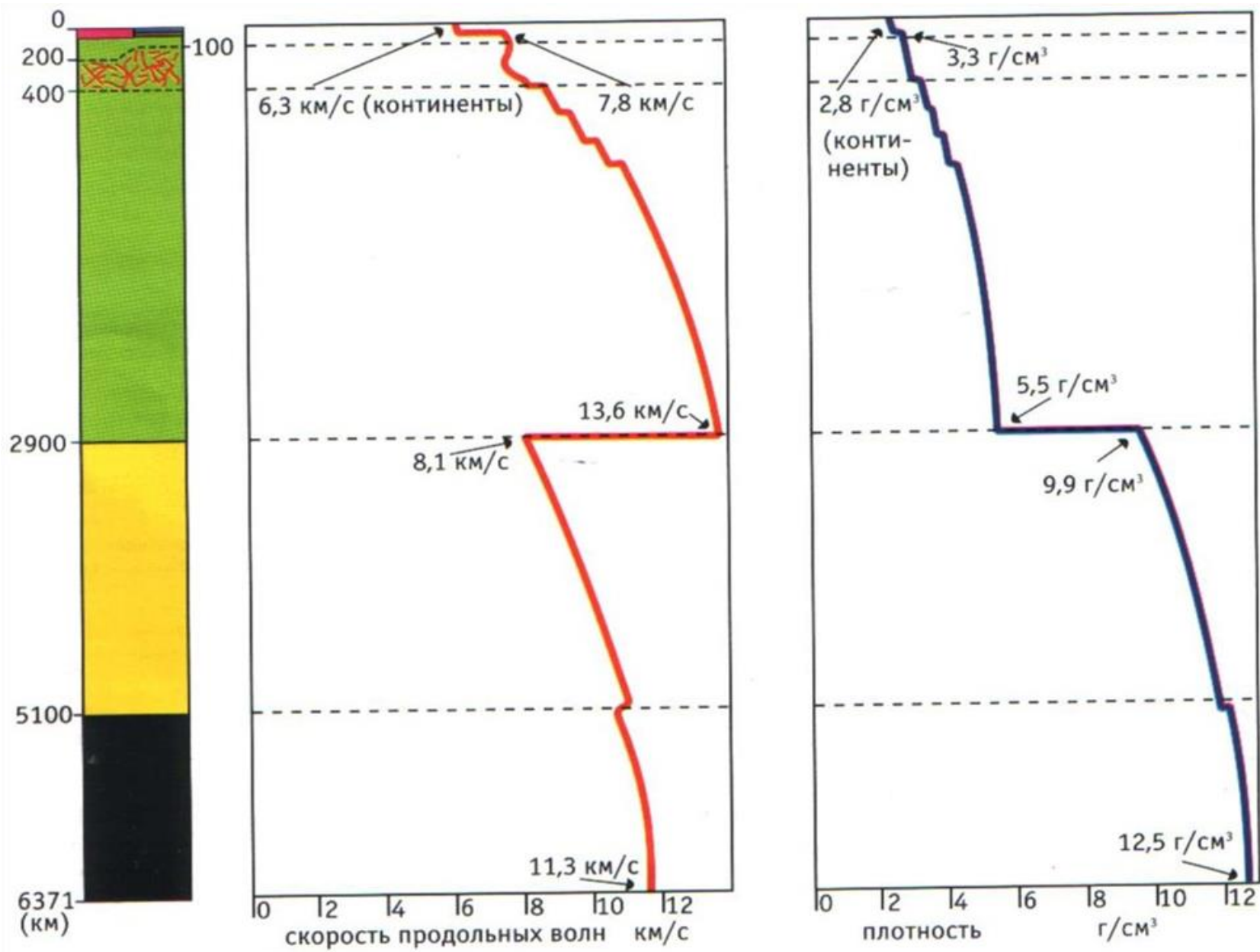


Соотношение оболочек Земли (в %)

	По объему	По массе
Ядро	16,2	32,3
Мантия	82,8	66,0
Кора	2,0	1,7

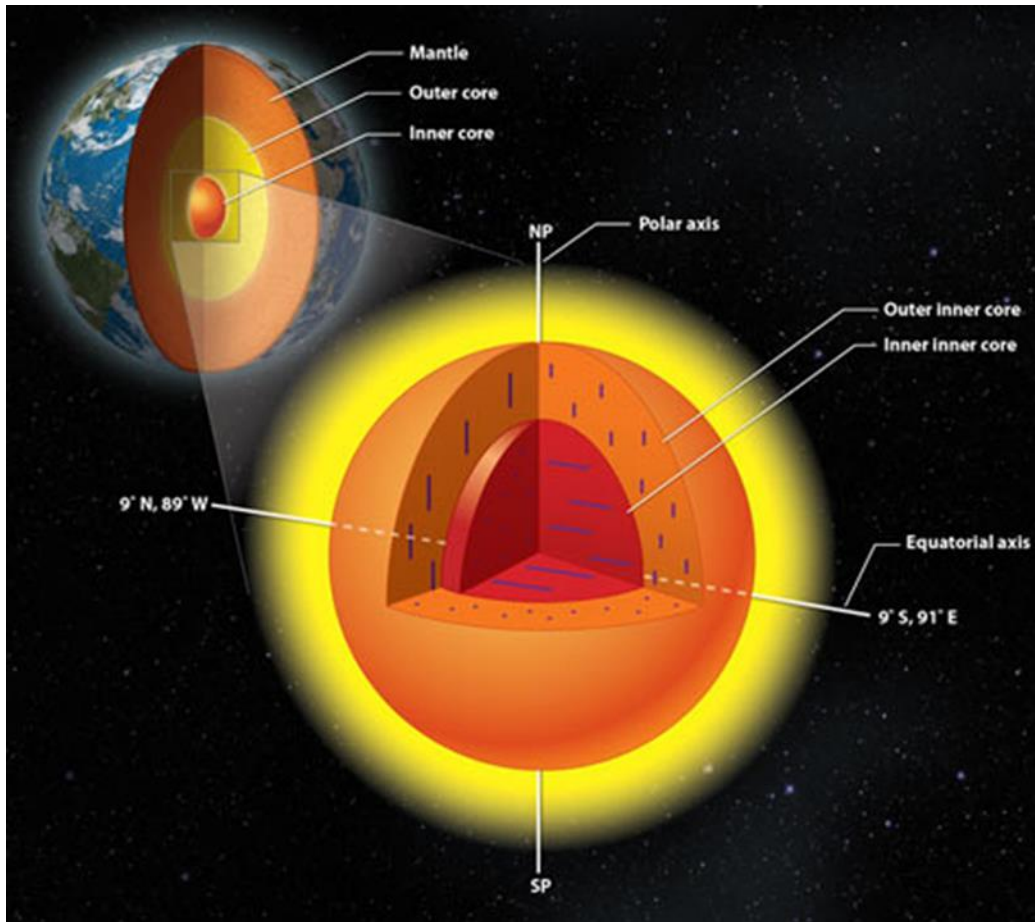
Источники информации о составе оболочек Земли

Метод	Ядро	Мантия		Кора	
		нижняя	верхняя	нижняя	верхняя
Прямые наблюдения					+
Сейсмические данные	+	+	+	+	+
Космохимические аналогии	+	+	+	—	—
Эксперименты	+	+	+	+	+
Анализ вещества	—	включения в глубинных алмазах	мантийные ксенолиты	?	прямое опробование



Сейсмический и плотностной профили Земли

Строение и состав ядра Земли



Принятая модель:
Fe,Ni-ядро Земли имеет радиус около 3,5 тыс. км и состоит из двух слоев: внешнего расплавленного мощностью около 2,2 тыс. км, и внутреннего твердого (1.2 тыс. км).

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 (Hrubiak et al., 2018).

Плотность вещества ядра Земли примерно соответствует плотности метеоритного железа (Fe-Ni-сплава) при T-P-условиях ядра. Однако проведенная более тщательная экстраполяция показала, что плотность вещества ядра Земли на 7,5 % меньше, чем у Fe-Ni-сплава.

Это снижение плотности объясняется присутствием в веществе ядра более легких элементов.

Возможные кандидаты на роль «третьего легкого компонента»: - H, C, O, Si, S

Плотность вещества ядра Земли примерно соответствует плотности метеоритного железа (Fe-Ni-сплава) при T-P-условиях ядра. Однако проведенная более тщательная экстраполяция показала, что плотность вещества ядра Земли на 7,5 % меньше, чем у Fe-Ni-сплава.

Это снижение плотности объясняется присутствием в веществе ядра более легких элементов.

Возможные кандидаты на роль «третьего легкого компонента»: - H, C, O, **Si**, **S**

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

Современные оценки времени формирования ядра – не более 30 млн. лет с момента начала формирования Земли.

В гипотезе гетерогенной аккреции ядро (основная доля) образуется на самом начальном этапе формирования Земли, и затем только «дорастает».

Альтернативные модели состава ядра:

- «металлизированное» силикатное ядро (гипотеза Лодочникова – Рамзая)
- водородное металлическое ядро (Кун, Ритман, 1941)
- водородное («гидридное») ядро (Ларин, 1968)

Современными данными не подтвердились.

Строение и состав мантии Земли

Мантия – основная по объему и массе оболочка Земли.

Мантия имеет ультра-основной силикатный состав, примерно отвечающий обыкновенным хондритам.

Мантия сейсмически неоднородна, как по вертикали, так и по латерали. При этом масштабы неоднородности относительно малы.

Вследствие изменчивости свойств с глубиной мантия в традиционной модели подразделяется на верхнюю и нижнюю.



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

Земная кора – самая верхняя геологическая оболочка Земли.

Мощность коры сильно варьирует от 5 км в океанах до 80 км в горно-складчатых областях континентов.

Земная кора сложена в основном силикатными породами, и ее усредненный состав соответствует андезито-базальтам.

Земная кора неоднородна по химическому составу, ее строение в целом хорошо изучено геологическими методами.

Энергетика геологических процессов

Геологические процессы питаются за счет взаимных превращений разных форм энергии: механической, тепловой и химической.

При геологических процессах энергия в конечном итоге рассеивается (диссипирует), и для протекания геологических процессов нужно ее пополнение из какого-то источника.

Два типа источников – внешние (по отношению к Земле) и внутренние.

Внешние источники:

- солнечное излучение
- приливное торможение.

Внутренние источники

- остаточное тепло аккреции
- распад радиоактивных изотопов в недрах Земли
- гравитационная энергия дифференциации вещества Земли.

Из внешних источников для Земли главное значение имеет **солнечное излучение** – на поверхности Земли оно дает в 1000 раз больше энергии, чем тепловой поток из недр. Однако большая часть поступающей энергии переизлучается поверхностью Земли обратно в космос.

В геологических процессах солнечная энергия проявляется в преобразованном виде – через движение вещества в атмосфере и гидросфере, фотосинтез и захоронение органического вещества, образование метастабильных гипергенных минералов и др.

Роль солнечного тепла резко убывает с погружением от поверхности. Годовые колебания температуры прослеживаются на глубину 10-15 м. Даже «вековые» колебания (оледенения) дали мощность многолетней мерзлоты до 1,5 км.

Энергия приливов для Земли дает малый вклад. За счет деформации коры она переходит в тепло. [Такой источник, вероятно, важен для процессов в недрах Меркурия и спутников Юпитера – Ио и др.]

Таким образом, **внешний источник доминирует в экзогенных процессах.**

Эндогенные процессы питаются внутренними источниками энергии.

Вклад **энергии аккреции** убывает со временем, он был важен для ранних эпох развития Земли.

Суммарная оценка **радиогенного тепла** сильно зависит от оценки содержания радиоактивных изотопов (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U) в ядре и мантии, где их очень мало. В пределах ошибки она перекрывает современный измеренный тепловой поток Земли. Этот источник также слабеет со временем.

Гравитационная энергия дифференциации мантии выделяется при переходе вещества (железа) из мантии в ядро и при выплавлении из ультраосновной мантии более легких базальтовых магм, питающих кору Земли.

В сумме эти источники обеспечивают весь наблюдаемый тепловой поток из недр Земли

