

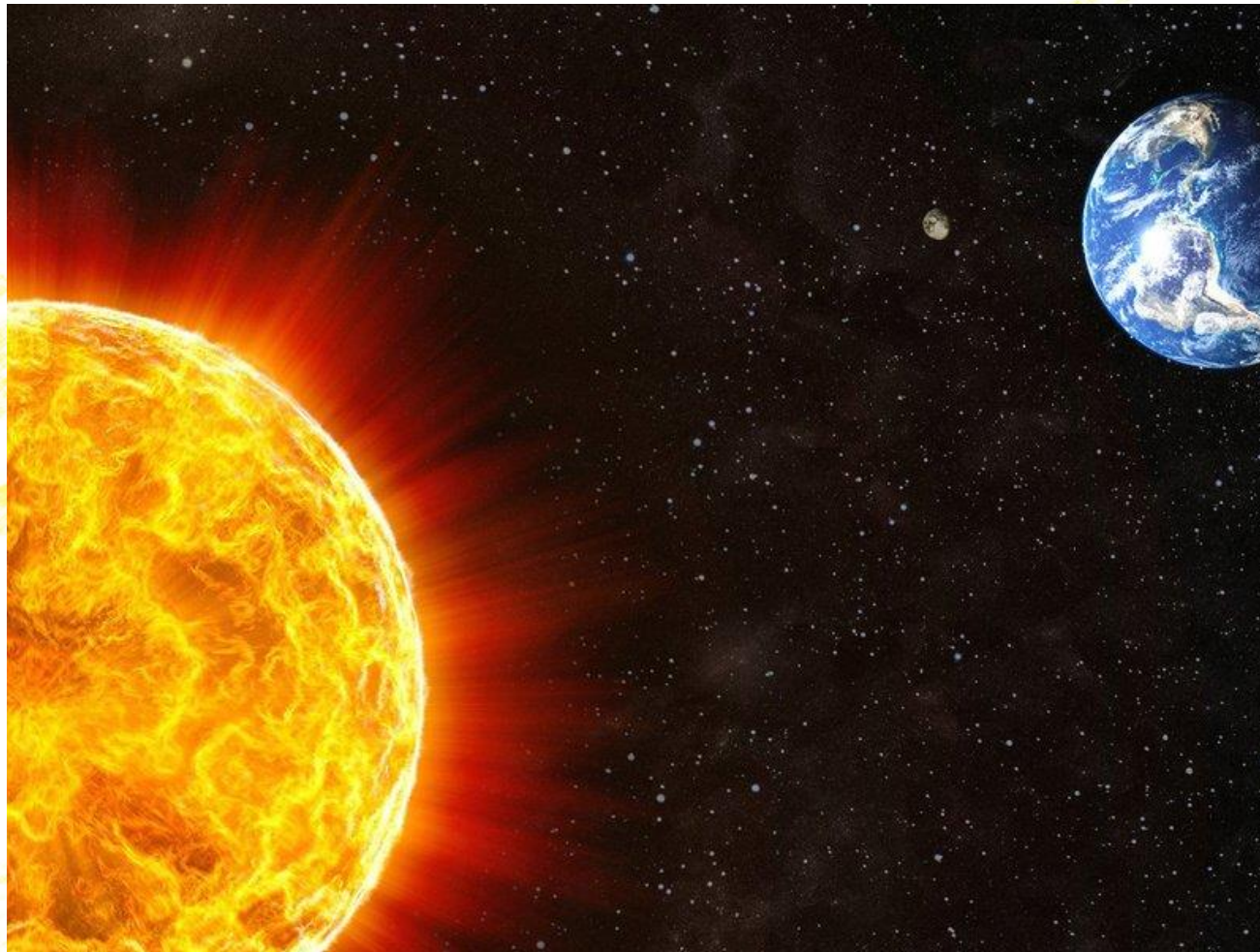
ГЕОХИМИЯ

Карпиченко Александр Александрович

**доцент кафедры почвоведения и
геоинформационных систем**

40 ч. лекций

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ



Хим. состав
фотосферы:

H 73,46 %

He 24,85 %

O 0,77 %

C 0,29 %

Fe 0,16 %

Ne 0,12 %

N 0,09 %

Si 0,07 %

Mg 0,05 %

S 0,04 %

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Метеорит — тело космического происхождения, упавшее на поверхность крупного небесного объекта.

Изотопный состав большинства метеоритов (C, O, Si, Cl, Fe, Ni, Co, K, Cu, Ga, U) такой же, как у этих элементов земного происхождения.

По составу выделяют метеориты:

- Каменные (хондриты и ахондриты) – самые распространенные – хондриты;
- Железные (сидериты);
- Железо-каменные.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Для силикатной части хондритов характерны хондры – шарики диаметром около одного миллиметра из стекла или нераскристаллизованного материала. Хондры не встречаются в земных условиях и могут выполнять роль индикатора при изучении генезиса метеоритов.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Состав хондритов практически полностью повторяет химический состав Солнца, за исключением лёгких газов, таких как водород и гелий. Поэтому считается, что хондриты образовались непосредственно из протопланетного облака, окружающего Солнце. Средний состав хондритов следующий: O (33,24 %), Fe (27,24), Si (17,19), Mg (14,29), S (1,93), Ni (1,64), Ca (1,27), Al (1,22), Na (0,64), Cr (0,29), Mn (0,25), P (0,11), K (0,08 %) (по Б. Мейсону).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Редко встречаются углистые хондриты с вкраплением графита, органического вещества и аминокислот, еще реже – ахондриты без хондр, порой близкие по составу к земным изверженным породам.

Ахондриты, железные и железо-силикатные метеориты относят к дифференцированным метеоритам. Они предположительно состоят из вещества, прошедшего дифференцировку в составе астероидов или других планетных тел.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Общие закономерности космической распространенности химических элементов сводятся к следующему:

1. В космосе легкие и четные ядра элементов более распространены и устойчивы, а тяжелые ядра, переполненные протонами и нейтронами, неустойчивы и менее распространены.
2. Среди легких элементов **Li, Be, B** имеют низкий кларк, так как они уничтожаются в ходе ядерных реакций.

Минимальное космическое распространение имеют также легкие элементы F, Se, Ga, Ge, Ti.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

3. Наиболее распространенные элементы космоса А.Е. Ферсман назвал космогенами: **H, He, O, C, N, Na, Mg, Si, S, Fe, Ni**. Они имеют атомные номера меньше 29.

4. В целом наиболее распространенные в космосе ядра имеют заполненные ядерные оболочки.

5. Среди четных изобар преобладает компонент с повышенным содержанием нейтронов (или меньшим Z), что указывает на важную роль нейтронов в процессе образования элементов.

6. Распространение ядер в интервале Z от 84 до 92 и $A > 209$ определяется законом радиоактивного распада.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Данные закономерности не исчерпывают всех особенностей распространения элементов в зависимости от их свойств (четность, наличие заполненных ядерных оболочек).

На них базируются следующие положения геохимии:

- повсеместное распространение химических элементов во всех геосферах Земли и космоса;

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

- непрерывная миграция химических элементов в пространстве и времени;
- многообразие форм и видов существующих элементов;
- преобладание рассеянного состояния элементов над концентрированным.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

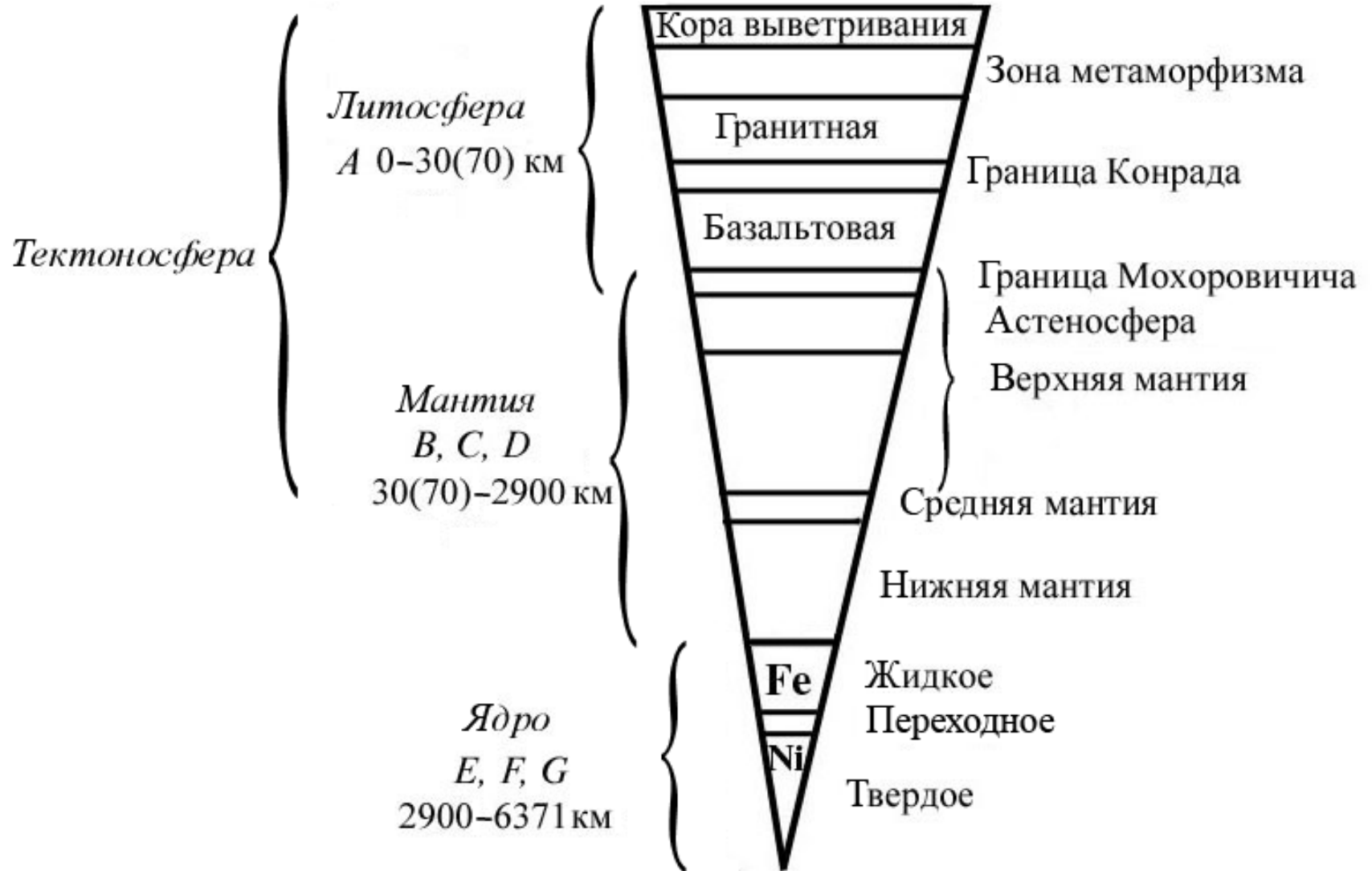
Кларки основных химических элементов в геосферах Земли, вес. %

Атмосфера*		Земная кора**		Гидросфера**		Живые организмы**	
элемент	кларк	элемент	кларк	элемент	кларк	элемент	кларк
N ₂	75,31	O	47,00	O	85,77	O	70,00
O ₂	23,01	Si	29,50	H	10,73	C	18,00
Ar	1,28	Al	8,05	Cl	1,93	H	10,50
CO ₂	0,04	Fe	4,65	Na	1,03	Ca	0,50
Σ	99,64	Σ	89,20	Σ	99,46	Σ	99,00

* по Б. А. Миртову;

** по А. П. Виноградову.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ



ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Ядро (внутреннее) предположительно твердое (G 5100–6371 км) с плотностью 12–13 г/см³, верхняя (E 2900–5000 км) часть его – жидкая. Переходное ядро F находится на глубине 5000–5100 км. Считается, что состав ядра близок к соответствующим железным метеоритам (Fe 80,78 %, Ni 8,59 %, Co 0,63 %).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Нижняя мантия (слой D 1000–2900 км) считается силикатно-сульфидной. Ее химический состав близок к каменным метеоритам: O – 35 %, Fe – 25, Si – 18, Mg – 14, S – 2, Ca – 1,4, Al – 1,3, Ni – 1,35, Na – 0,7, Cr – 0,25, Mn – 0,20 %.

Средняя мантия (переходная зона мантии) (слой C 400–1000 км) имеет, возможно, силикатно-магнезиальный состав. Ее большую плотность объясняют формированием минералов с более плотной упаковкой (стишовит, шпинель, периклаз и др.). Допускается, что основными компонентами являются оливин Mg_2SiO_4 , элементы Si, Mg, O, Fe, Ca, Al.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Верхняя мантия (слой В от 30 до 400 км) считается неоднородной по элементарному и изотопному составу. На глубине до 200 км расположен мягкий пластичный слой с пониженной скоростью распространения сейсмических волн, получивший название астеносфера. Она выражена в складчатых областях (осадочные отложения) и практически отсутствует на платформах. Считается, что перемещение вещества в астеносфере – причина вулканизма и тектонических подвижек.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

В мантии вещество близко к металлическому состоянию. Породы верхней мантии соответствуют ультрабазитам, имеют разный состав и при выходе на поверхность близки к пиролиту (пироксено-оливиновая порода). При плавке пиролит образует базальтовую магму и остаточный перидотит. Ведущие элементы – Si, O, Mg, Fe, Ca, Al.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Земная кора (литосфера) отделяется от подстилающей ее верхней мантии границей Мохоровичича, на которой скорости распространения сейсмических волн скачком возрастают до 8,0–8,2 км/с.

Граница Мохоровичича по одной гипотезе разделяет химически разные слои, по другой – это поверхность фазового перехода, но она не исключает наличия химической границы.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Литосфера (слой А от 0 до 30–70 км) залегает выше астеносферы, верхний разрушаемый слой называют корой выветривания. По изменению скорости сейсмических волн в литосфере выделяют верхнюю (“гранитную”) и нижнюю, более тяжелую “базальтовую” часть. Их разделяет граница Конрада. Ведущие элементы – Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K.

Земная кора представляет собой важнейшую арену, где протекают основные процессы формирования провинций полезных ископаемых. Выделяют два ее типа: континентальную и океаническую.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Континентальная кора условно разделяется на три слоя: осадочный, гранитно-метаморфический и гранулитно-базальтовый. Мощность осадочного слоя 0–15 км (в среднем 2,5 км). Его состав преимущественно глинисто-карбонатный.

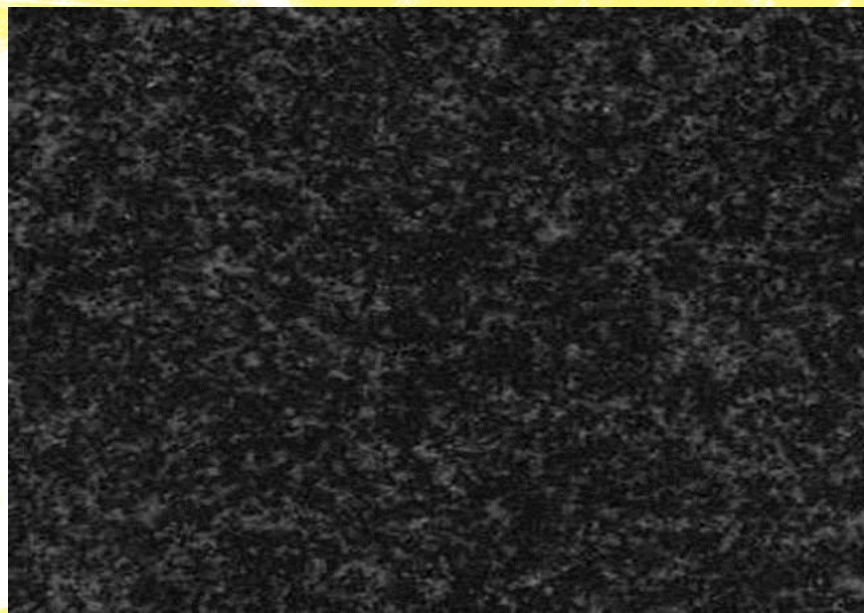
Гранитно-метаморфический слой включает гранитно-гнейсовые комплексы с небольшим количеством частично преобразованных зеленокаменных пород.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

На глубине 15–20 км этот слой на границе Конрада (где резко, на 0,5 км/с, возрастает скорость сейсмических волн) сменяется гранулитобазальтовым слоем, состоящим из пород среднего и основного состава, метаморфизированных до гранулитовой и амфиболитовой фаций. Глубже залегает мантия с ультраосновными породами.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Океаническая кора состоит из трех слоев: верхний осадочный (в среднем 0,5 км); второй базальтовый (1,5–2,0 км) с лавами толеитовых базальтов; нижний габбро-серпентинитовый (4,5–5,0 км). Общая мощность океанической коры составляет 6,5–7,0 км, средняя плотность – $2,9 \text{ г/см}^3$.



ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

В основании осадочного слоя иногда залегают металлоносные железистые осадки. Нижняя часть осадочного слоя обычно сложена карбонатными осадками на глубине менее 4,0–4,5 км. На больших глубинах отлагаются красные глины и кремнистые илы.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Относительная последовательность понижения
распространенности элементов, вес. % (Б. Мейсон) [2]

Солнце	Метеориты	Земля в целом	Литосфера
H	O	Fe	O
He	Fe	O	Si
O	Si	Si	Al
C	Mg	Mg	Fe
N	S	Ni	Ca
Si	Ni	S	Na
Mg	Ca	Ca	K
S	Al	Al	Mg
Fe	Na	Na	Ti
Ca	Cr	Cr	H
Ni	Mn	Mn	P
Na	P	Co	Mn
Al	Co	P	F
Cu	K	K	Ba

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

По последовательности преобладающих химических элементов Земля в целом и метеориты практически дублируют друг друга.

В пред. табл. приведено последовательное убывание 14 элементов, из которых практически полностью построена Земля, доля иных составляет лишь 0,1 % от массы планеты. В других объектах Вселенной эти же элементы также ведущие, за исключением Н и He на Солнце, хотя последовательность их по содержанию другая.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

Основные различия валового химического состава Земли и литосферы в том, что Fe и Mg в литосфере менее распространены, нет среди ведущих элементов Ni и S, но увеличена доля Al, Ca, Na. Это позволяет предположить, что дифференциация вещества Земли привела к концентрации относительно легких и легкоплавких алюмосиликатов щелочных металлов на поверхности.