

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Томский политехнический университет

Презентация лекционного курса

ГЕОХИМИЯ

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ. КЛАРКИ

Автор К. Г.-М. Н., доцент

Недоливко Наталья Михайловна

Одна из важнейших задач геохимии – определение распространённости химических элементов в земной коре.

С этих исследований во многом и началась геохимия как наука. Долгое время распространённость различных простых веществ невольно связывалась с их практическим применением.

Впервые попытался оценить средний химический состав земной коры в 1815 г. английский минералог **В. Филлипс** на примере 10 элементов.

Он определил количественную последовательность распространённости элементов и показал, что в неорганической природе резко преобладают кислород и оксиды кремния, алюминия и железа, подобно тому, как в живой природе «царствует» четверка элементов-органогенов: кислород, водород, углерод и азот (рис. 1).

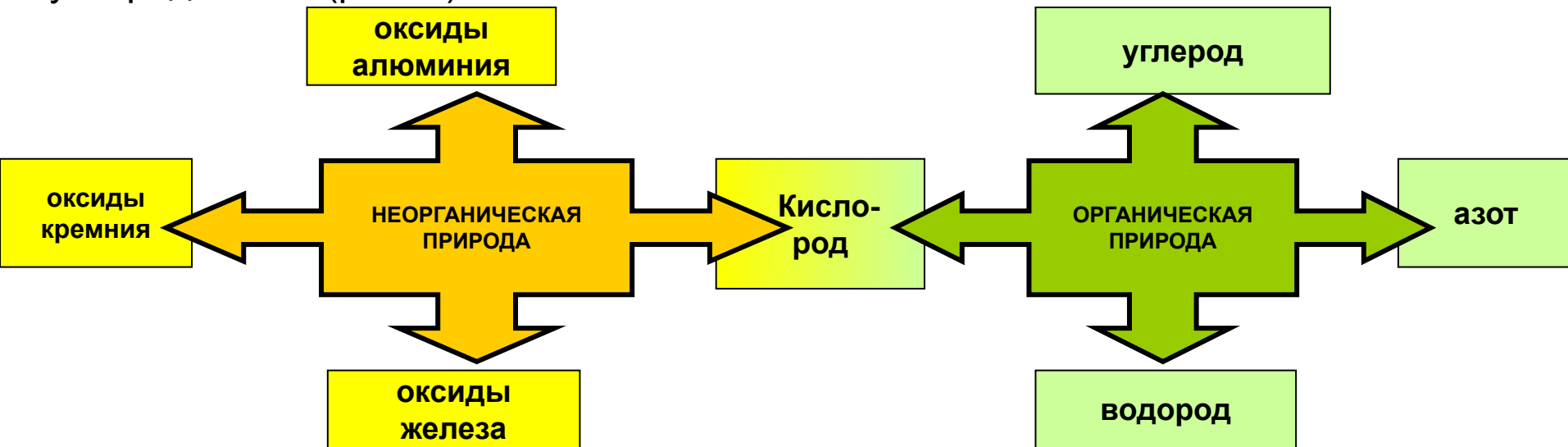


Рис. 1. Схема химического состава земной коры, по В. Филлипсу

Проанализировав более 5000 данных по химическому составу минералов и горных пород, американский геохимик **Ф.У. Кларк** в 1889 г. опубликовал первую сводную таблицу среднего химического состава земной коры.

Спустя 20 лет он издал справочник с данными о составе горных пород, почв и вод, обобщив в нем работы почти 1000 исследователей.

С помощью геолога Г. Вашингтона Ф.У. Кларк произвел классический расчет среднего содержания химических элементов в условном слое земной коры толщиной 16 км.

Химический состав земной коры исследовался многими учеными, наиболее известны работы

***В.М. Гольдшмидта,
А.Б. Ронова,
А. Полдερваарта,
А.А. Ярошевского,
В.И. Вернадского,
А.Е. Ферсмана,
А.П. Виноградова и др.***

Используя новейшие методы анализа (нейтронно-активационный, атомно-абсорбционный, люминесцентный и др.), из результатов многочисленных точных анализов минералов, пород и их смесей, из сопоставления распространенности отдельных пар элементов удалось определить содержание в земной коре почти всех элементов периодической системы.

Распространенность элементов в земной коре определяют **кларками**. Термин предложен А.Е. Ферсманом в честь Ф.У. Кларка, впервые достаточно полно и точно оценившего химический состав земной коры.

Кларк – это среднее содержание элементов в каком-либо образовании земной коры – литосфере, гидросфере и т.д., или даже в толще пород какого-либо района («местные кларки»).

Кларк может быть выражен в единицах массы (% , г/т и др.), либо в атомных %

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов в литосфере и в главных типах пород (по А.П. Виноградову, 1962), масс. %

| Элементы | Ультра-основные породы | Основные породы | Средние породы | Кислые породы | Осадочные породы | Средний состав литосферы |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Li | $5 \cdot 10^{-5}$ | $1,5 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-3}$ | $4 \cdot 10^{-4}$ | $6 \cdot 10^{-3}$ | $3,2 \cdot 10^{-3}$ |
| Be | $2 \cdot 10^{-5}$ | $4 \cdot 10^{-5}$ | $1,8 \cdot 10^{-4}$ | $5,5 \cdot 10^{-4}$ | $3 \cdot 10^{-4}$ | $3,8 \cdot 10^{-4}$ |
| B | $1 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-4}$ | $1,5 \cdot 10^{-3}$ | $1,5 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-2}$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$ |
| C | $1 \cdot 10^{-2}$ | $1 \cdot 10^{-2}$ | $2 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-2}$ | 1 | $2,3 \cdot 10^{-3}$ |
| N | $6 \cdot 10^{-4}$ | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $2,2 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-3}$ | $6 \cdot 10^{-2}$ | $1,9 \cdot 10^{-3}$ |
| O | 42,5 | 43,5 | 46 | 48,7 | 52,8 | 47,0 |
| F | $1 \cdot 10^{-2}$ | $3,7 \cdot 10^{-2}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ | $8 \cdot 10^{-2}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ | $6,6 \cdot 10^{-2}$ |
| Na | $5,7 \cdot 10^{-1}$ | 1,94 | 3 | 2,77 | 0,66 | 2,5 |
| Mg | 25,9 | 4,5 | 2,18 | 0,56 | 1,34 | 1,87 |
| Al | 0,45 | 8,76 | 8,85 | 7,7 | 10,45 | 8,05 |
| Si | 19 | 24 | 26 | 32,3 | 23,8 | 29,5 |
| P | $1,7 \cdot 10^{-2}$ | $1,4 \cdot 10^{-1}$ | $1,6 \cdot 10^{-1}$ | $7 \cdot 10^{-2}$ | $7,7 \cdot 10^{-2}$ | $9,3 \cdot 10^{-2}$ |
| S | $1 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-2}$ | $2 \cdot 10^{-2}$ | $4 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-1}$ | $4,7 \cdot 10^{-2}$ |
| Cl | $5 \cdot 10^{-3}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-2}$ | $2,4 \cdot 10^{-2}$ | $1,6 \cdot 10^{-2}$ | $1,7 \cdot 10^{-2}$ |
| K | $3 \cdot 10^{-2}$ | $8,3 \cdot 10^{-1}$ | 2,3 | 3,34 | 2,28 | 2,5 |
| Ca | 0,7 | 6,72 | 4,65 | 1,58 | 2,53 | 2,96 |
| Sc | $5 \cdot 10^{-4}$ | $2,4 \cdot 10^{-3}$ | $2,5 \cdot 10^{-4}$ | $3 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| Ti | $3 \cdot 10^{-2}$ | $9 \cdot 10^{-1}$ | $8 \cdot 10^{-1}$ | $2,3 \cdot 10^{-1}$ | $4,5 \cdot 10^{-1}$ | $4,5 \cdot 10^{-1}$ |
| V | $4 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-2}$ | $1 \cdot 10^{-2}$ | $4 \cdot 10^{-3}$ | $1,3 \cdot 10^{-2}$ | $9 \cdot 10^{-3}$ |
| Fe | 9,85 | 8,56 | 5,85 | 2,7 | 3,33 | 4,65 |

Периодическая система элементов Д.И. Менделеева

| Периоды | Ряды | I группа | II группа | III группа | IV группа | V группа | VI группа | VII группа | VIII группа | | | | Примечание | |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 1 | (H) | | | | | | | H водород | 1 1,0079 | 2 4,0026 | He гелий | | Наиболее распространенные элементы |
| 2 | 2 | Li 3 6,939 литий | Be 4 9,0122 бериллий | 5 10,81 бор | B 6 12,01115 углерод | C 7 14,0067 азот | N 8 15,9994 кислород | O 9 18,9984 фтор | F 10 20,183 неон | | | | | Основные элементы земной коры |
| 3 | 3 | Na 11 22,9898 натрий | Mg 12 24,305 магний | 13 26,98154 алюминий | 14 28,086 кремний | 15 30,97376 фосфор | 16 32,064 сера | 17 35,453 хлор | 18 39,948 аргон | | | | | |
| 4 | 4 | K 19 39,102 калий | Ca 20 40,08 кальций | Sc 21 44,956 скандий | Ti 22 47,90 титан | V 23 50,942 ванадий | Cr 24 51,996 хром | Mn 25 54,9380 марганец | Fe 26 55,847 железо | Co 27 58,9332 кобальт | Ni 28 58,71 никель | | | |
| | 5 | Cu 29 63,54 медь | Zn 30 65,37 цинк | Ga 31 69,72 галлий | Ge 32 72,59 германий | As 33 74,9216 мышьяк | Se 34 78,96 селен | Br 35 79,909 бром | Kr 36 83,80 криптон | | | | | |
| 5 | 6 | Rb 37 85,467 рубидий | Sr 38 87,62 стронций | Y 39 88,905 иттрий | Zr 40 91,22 цирконий | Nb 41 92,906 ниобий | Mo 42 95,94 молибден | Tc 43 98,9062 технеций | Ru 44 101,07 рутений | Rh 45 102,905 родий | Pd 46 106,4 палладий | | | |
| | 7 | Ag 47 107,87 серебро | Cd 48 112,40 кадмий | In 49 114,82 индий | Sn 50 118,69 олово | Sb 51 121,75 сурьма | Te 52 127,60 теллур | I 53 126,9044 йод | Xe 54 131,30 ксенон | | | | | |
| 6 | 8 | Cs 55 132,905 цезий | Ba 56 137,34 барий | La 57 – Lu 71 138,91 лантан | Hf 72 178,49 гафний | Ta 73 180,948 тантал | W 74 183,85 вольфрам | Re 75 186,2 рений | Os 76 190,2 осмий | Ir 77 192,2 иридий | Pt 78 195,2 платина | | | |
| | 9 | Au 79 196,967 золото | Hg 80 200,59 ртуть | Tl 81 204,37 галлий | Pb 82 207,19 свинец | Bi 83 208,980 висмут | Po 84 <210> полоний | At 85 <210> астат | Rn 86 <222> радон | | | | | |
| 7 | 10 | Fr 87 <223> франций | Ra 88 <226> радий | Ac 89 - Lr 103 <227> актиноид | Rf 104 <260> резерфордий | Db 105 <261> дубний | Sg 106 <263> сигборгий | Bh 107 <264> борий | Hs 108 <269> хассий | Mt 109 <268> мейтнерий | | | | |
| Лантаноиды | | | | | | | | | | | | | | |
| La 57 138,91 лантан | Ce 58 140,12 церий | Pr 59 140,907 празеолм | Nd 60 144,24 неолм | Pm 61 <145> прометий | Sm 62 150,35 самарий | Eu 63 151,96 европий | Gd 64 157,25 гадолиний | Tb 65 158,924 тербий | Dy 66 162,50 диспрозий | Ho 67 164,93 гольмий | Er 68 167,26 эрбий | Tm 69 168,934 тулий | Yb 70 173,04 иттербий | Lu 71 174,97 лютеций |
| Актинοиды | | | | | | | | | | | | | | |
| Ac 89 <227> актиноид | Th 90 232,038 торий | Pa 91 <231> проактиний | U 92 238,03 уран | Np 93 <237> нептуний | Pu 94 <242> плутоний | Am 95 <243> америдий | Cm 96 <243> курий | Bk 97 <249> берклий | Cf 98 <249> калifornий | Es 99 <254> эйнштейний | Fm 100 <255> фермий | Md 101 <256> менделеевий | No 102 <254> нобелий | Lr 103 <257> лоуренсий |

Земная кора сложена в основном легкими элементами, расположенными в периодической системе Д.И. Менделеева по Fe включительно.

Элементы, следующие за Fe, в сумме составляют лишь доли процента. После железа, порядковый номер которого 26, нет ни одного химического элемента с кларком более 0,1 %.

ВЫВОДЫ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

1. Ряд физической распространенности элементов в литосфере:

**O>Si>Al>Fe>Ca>Na>K>Mg>Ti>Mn>P>F>Ba>S>Sr>Cl>Z>Rb>
V>Cr>Zn>Ce>Ni>Cu>Nd>Li>Y>La>C>Nb>N>Ga>Co>Pb.....**

Уменьшение содержания элементов



2) Ведущими элементами вещества земной коры являются 8 элементов:

O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K.

Доля остальных 84 элементов составляет менее 1 % массы земной коры.

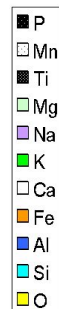
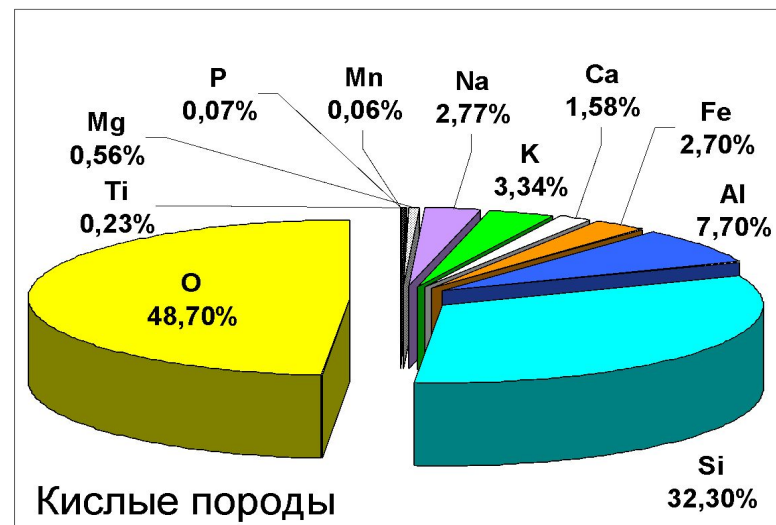
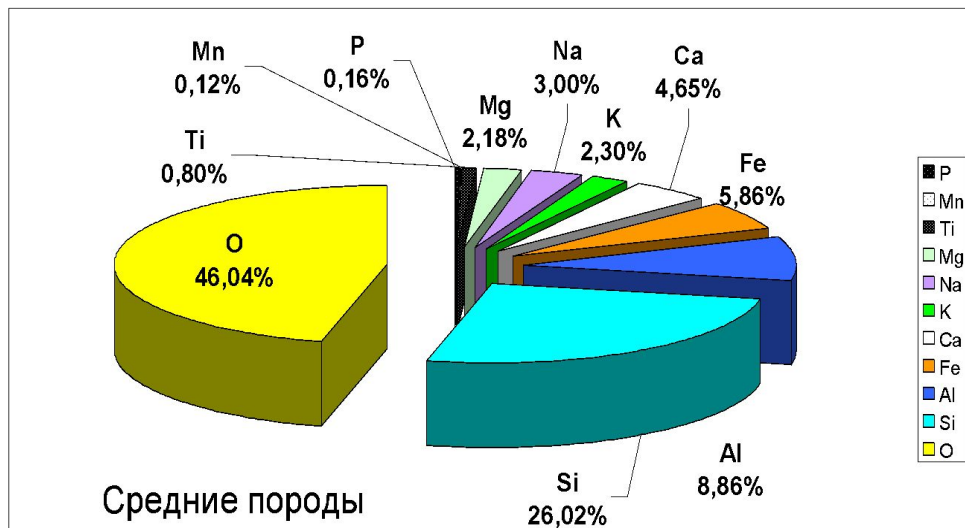
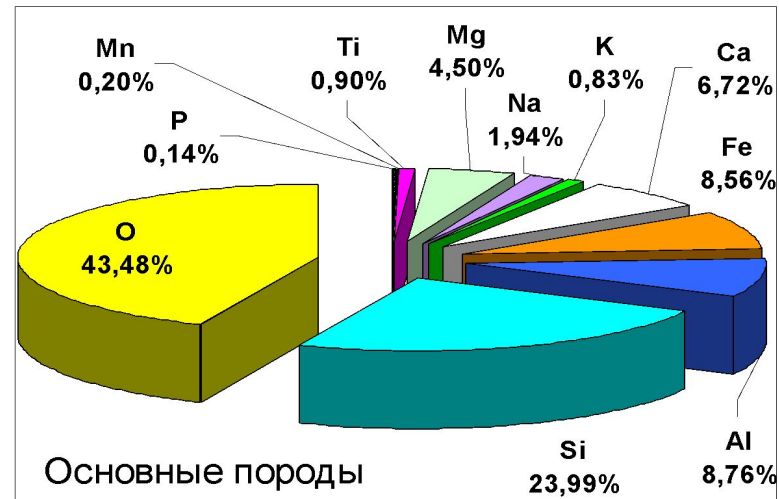
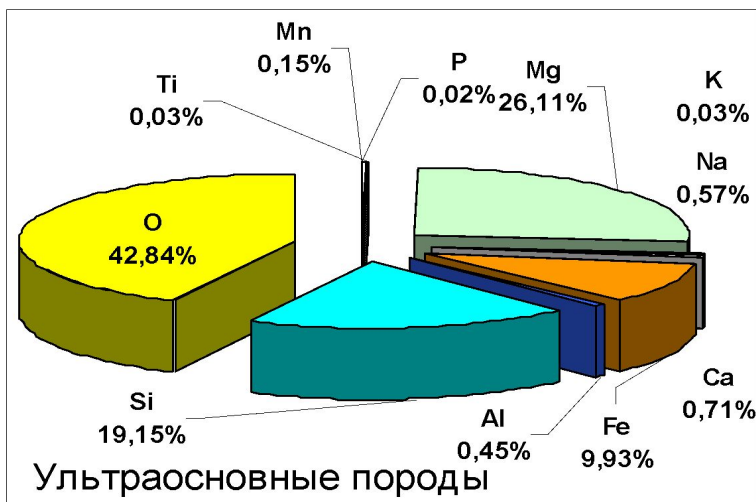
3) Главнейший по распространенности элемент – **кислород (O)**:

его атомы составляют **47 %** массы земной коры

почти **90 %** объема важнейших породообразующих минералов
(ортоклаз, альбит, анортит, кварц, диопсид, мусковит).

4) Геохимическая особенность земной коры состоит в резко различной распространенности элементов, слагающих как кору в целом, так и различные типы пород. Одни элементы слагают основную массу горных пород, другие находятся в них в ничтожно малых количествах.

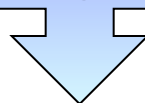
Содержание основных породообразующих элементов в магматических породах разного состава



В ряду магматических пород (от ультраосновного состава до кислого) увеличивается содержание кислорода, кремния и калия и снижется концентрация железа и магния.

Связь отдельных элементов с породами определенного состава выражена в том,

что:



существуют элементы, которые в основных и кислых породах распространены примерно одинаково

Ga, Ge, Se, Ne, Re, Sr, Nb, Cd, In, Hf;

существуют элементы, которые в основных породах накапливаются в значительно больших количествах, чем в кислых

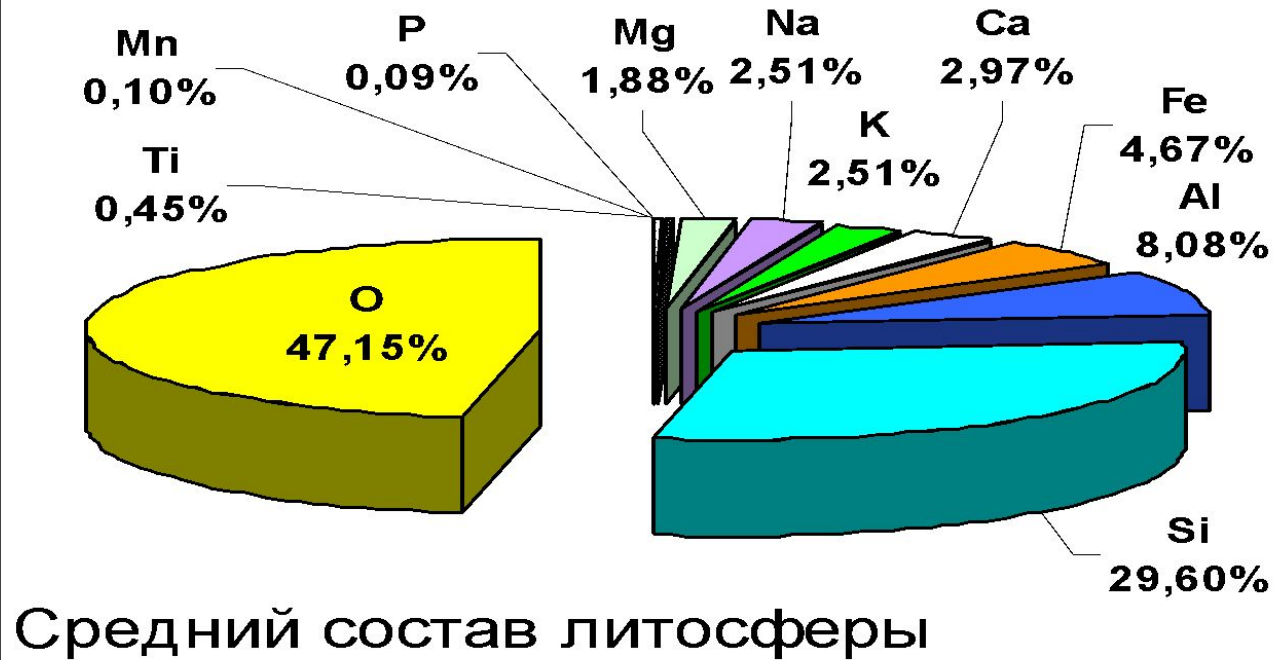
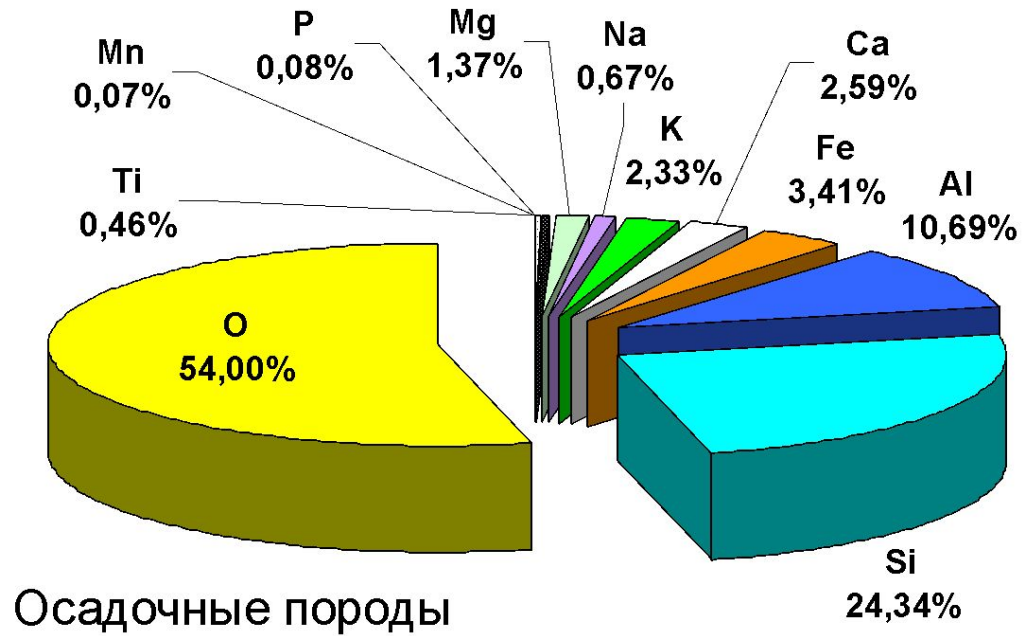
Cr, Sc, Ni, V, Co, Pt;

существуют элементы, содержание которых в кислых породах заметно выше, чем в основных

Li, Be, Rb, TR, Ba, Tl, Th, U, Ta.

Соотношение кларков основных породообразующих элементов в осадочных породах и литосфере

В осадочных породах резко повышена роль кислорода и алюминия, высокое, по сравнению с ультраосновными и основными породами, содержание кремния.



- Фундаментальной особенностью осадочных пород является отчётливо выраженное различие между их составом и средним составом пород "гранитной" оболочки, представлявшей собой главный источник осадочного материала в течение последних 2–3 млрд лет земной истории.
- Различие заключается, прежде всего, в повышенном, против баланса, содержании в породах осадочной оболочки воды, углекислоты и органического углерода, а также S, Cl, F, B и др. "избыточных летучих".
- Другой важной особенностью осадочных пород является высокое содержание в них кальция, сдвиг отношения K/Na в пользу калия, более высокое отношение окисного железа к закисному, повышенное содержание сульфатной серы по сравнению с кристаллическими породами "гранитной" оболочки.

Литература

- ❖ Барабанов В. Ф. Геохимия. – Л: Недра, 1985. – 423 с.
- ❖ Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. – М.: Недра, 1968. – 331 с.