

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 распространенности химических элементов в земной коре.**

С этих исследований во многом и началась геохимия как наука. Долгое время распространенность 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 распространенности 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).

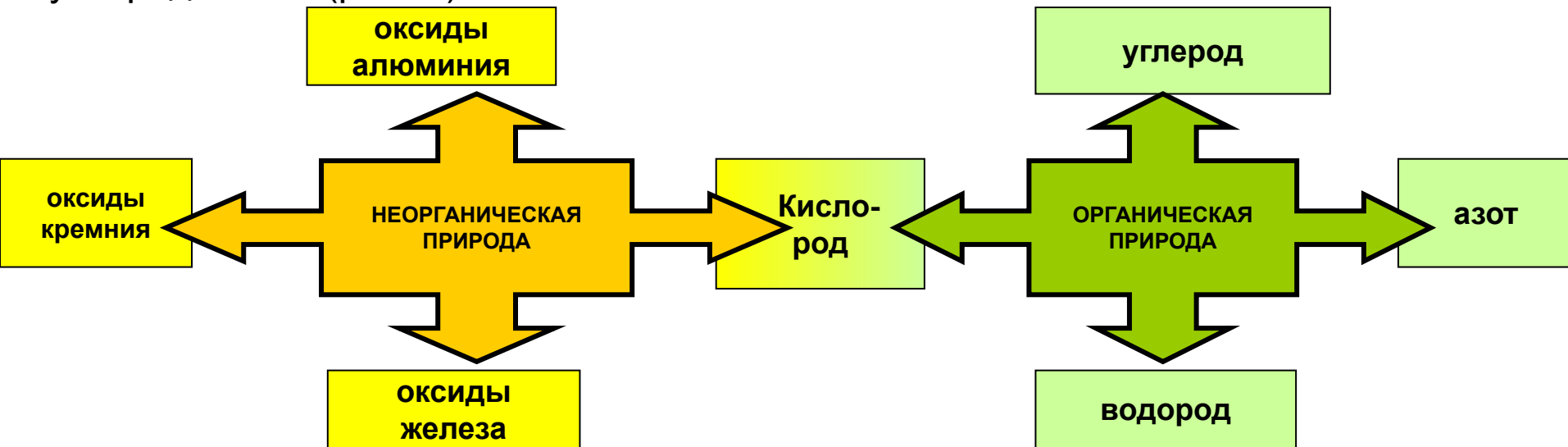


Рис. 1. Схема химического состава земной коры, по В. Филлипсу

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	$6 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
<b>O</b>	<b>42,5</b>	<b>43,5</b>	<b>46</b>	<b>48,7</b>	<b>52,8</b>	<b>47,0</b>
F	$1 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$
<b>Na</b>	<b><math>5,7 \cdot 10^{-1}</math></b>	<b>1,94</b>	<b>3</b>	<b>2,77</b>	<b>0,66</b>	<b>2,5</b>
<b>Mg</b>	<b>25,9</b>	<b>4,5</b>	<b>2,18</b>	<b>0,56</b>	<b>1,34</b>	<b>1,87</b>
<b>Al</b>	<b>0,45</b>	<b>8,76</b>	<b>8,85</b>	<b>7,7</b>	<b>10,45</b>	<b>8,05</b>
<b>Si</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>32,3</b>	<b>23,8</b>	<b>29,5</b>
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	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$
<b>K</b>	<b><math>3 \cdot 10^{-2}</math></b>	<b><math>8,3 \cdot 10^{-1}</math></b>	<b>2,3</b>	<b>3,34</b>	<b>2,28</b>	<b>2,5</b>
<b>Ca</b>	<b>0,7</b>	<b>6,72</b>	<b>4,65</b>	<b>1,58</b>	<b>2,53</b>	<b>2,96</b>
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	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$
<b>Fe</b>	<b>9,85</b>	<b>8,56</b>	<b>5,85</b>	<b>2,7</b>	<b>3,33</b>	<b>4,65</b>

# 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 <261> 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 празеолит	Nd 60 144,24 неолит	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> нобеллий	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.

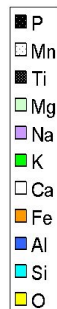
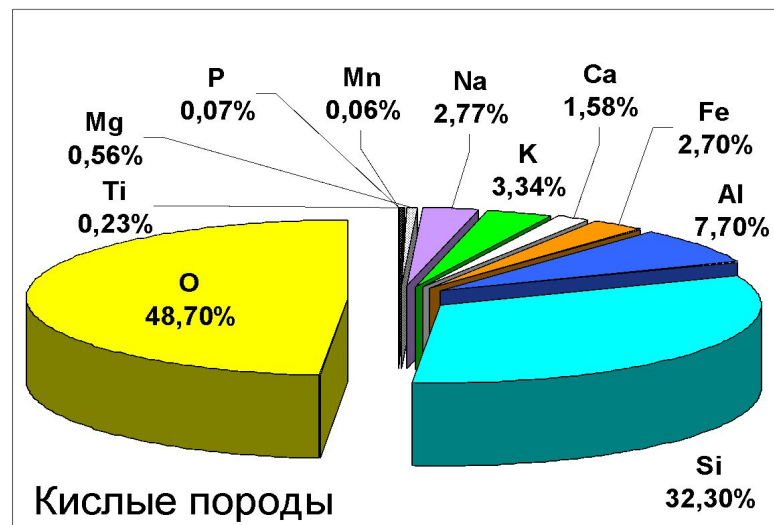
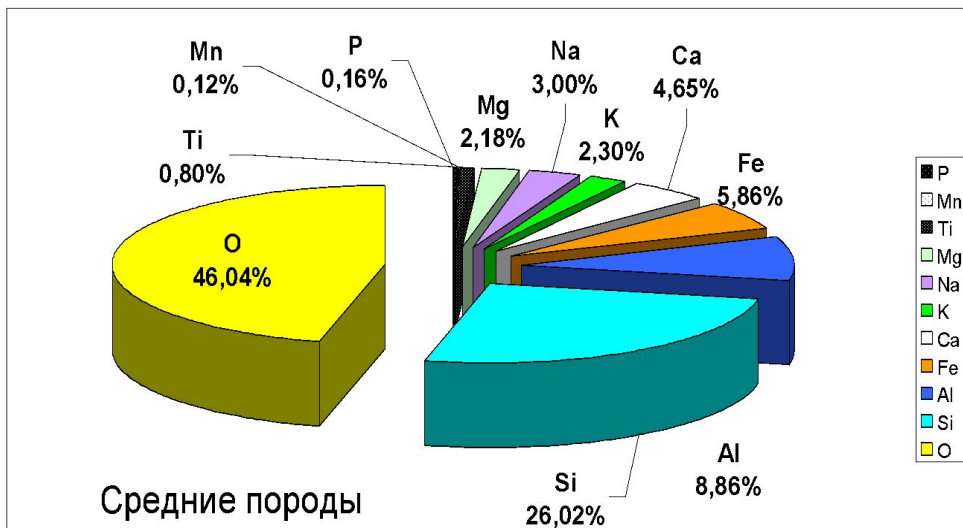
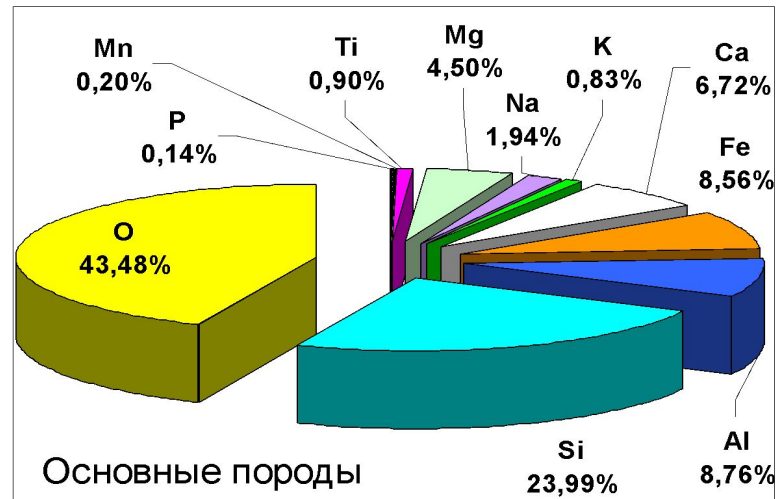
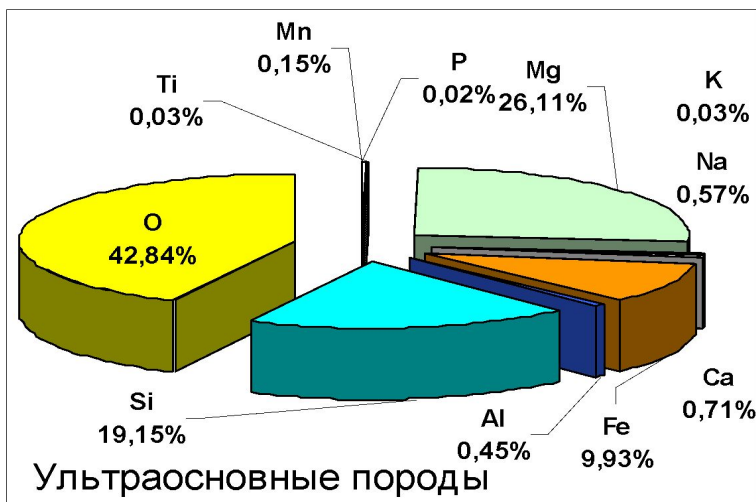
3) Главнейший по распространенности элемент – **кислород (O)**:

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

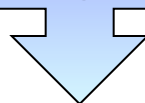


**В ряду магматических пород (от ультраосновного состава до кислого) увеличивается содержание кислорода, кремния и калия и снижется концентрация железа и магния.**



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

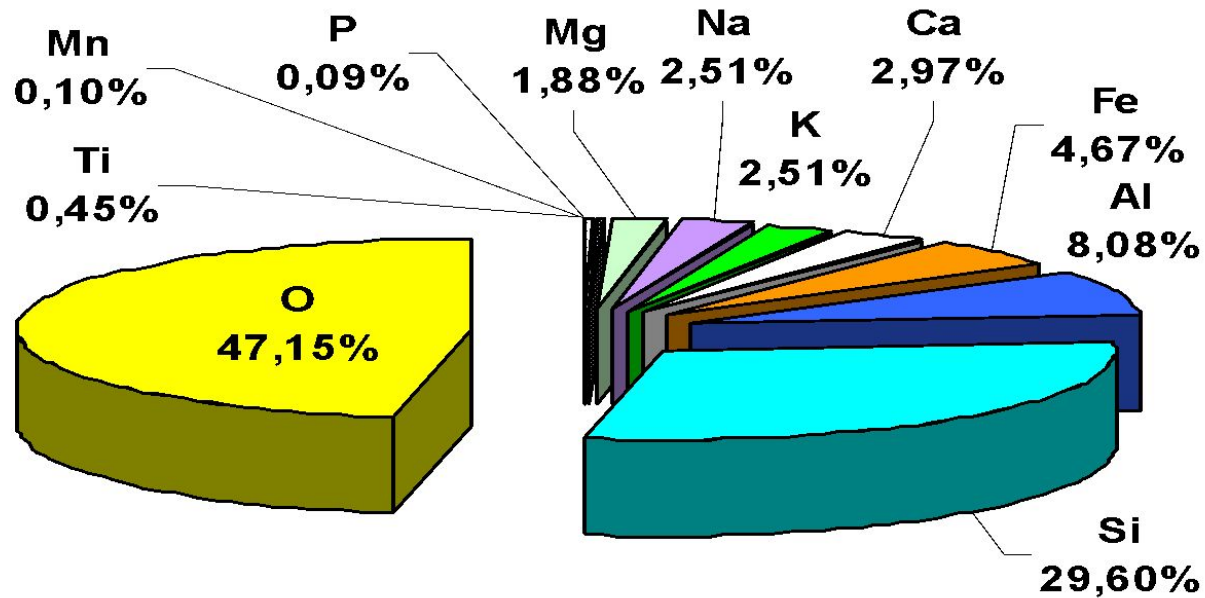
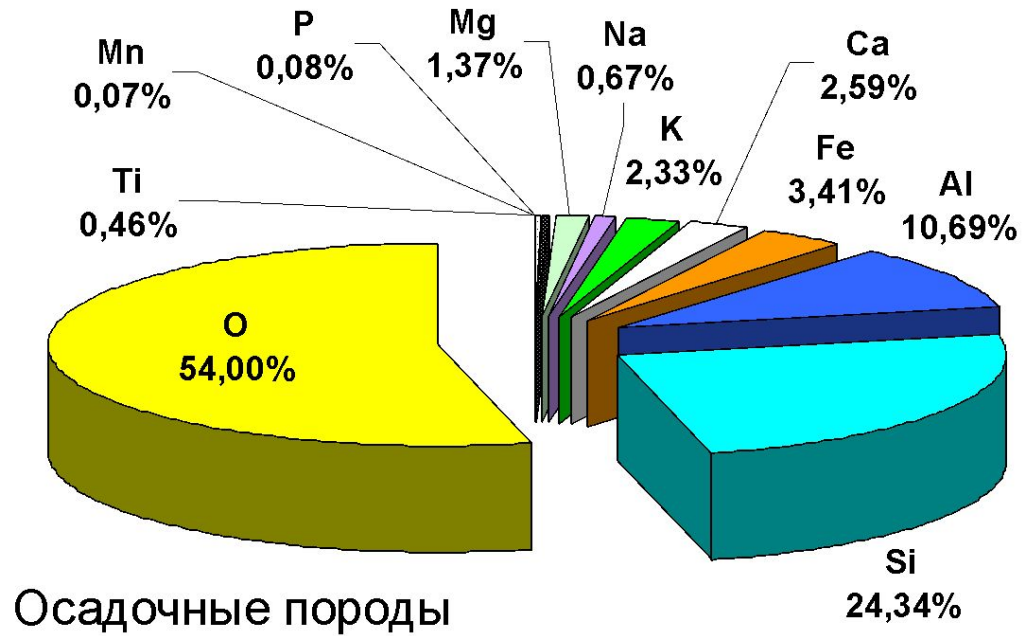
*Cr, Sc, Ni, V, Co, Pt;*

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.