

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).

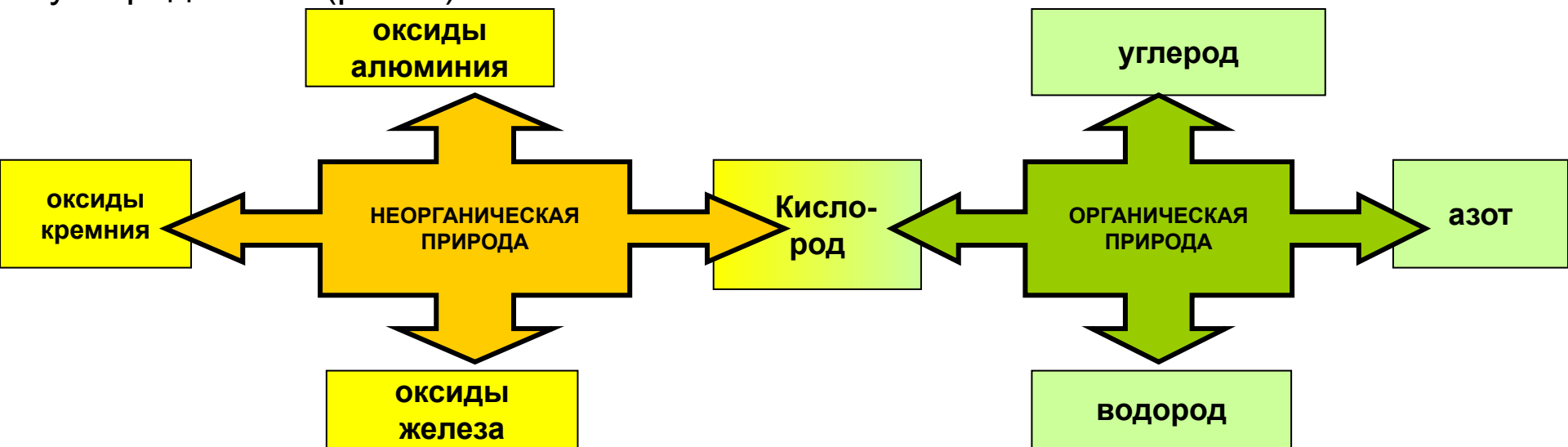


Рис. 1. Схема химического состава земной коры, по В. Филлипсу

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. Полдерваарта,***

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

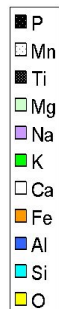
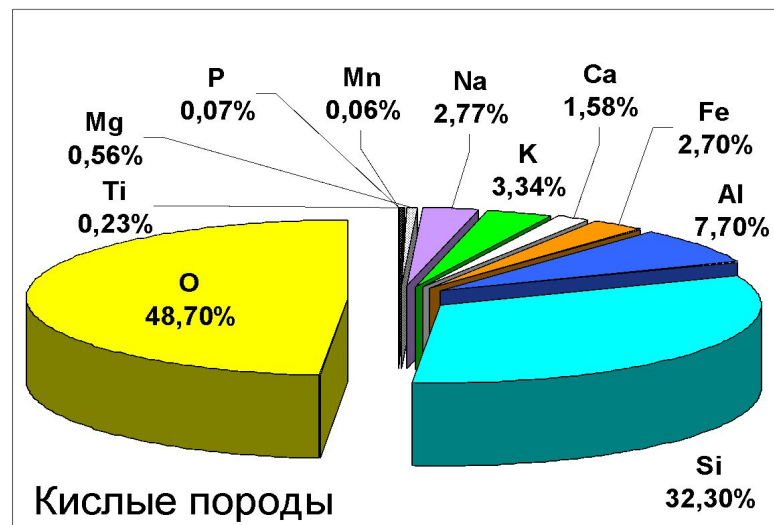
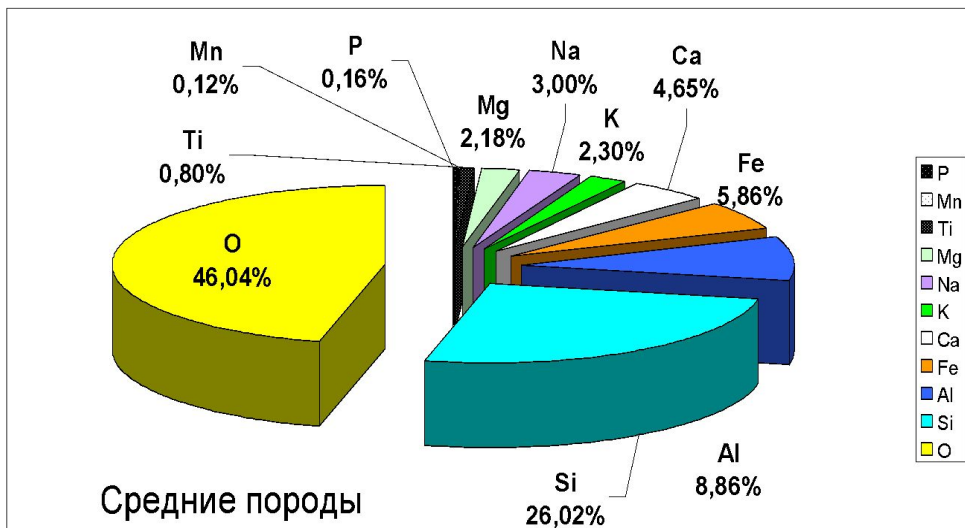
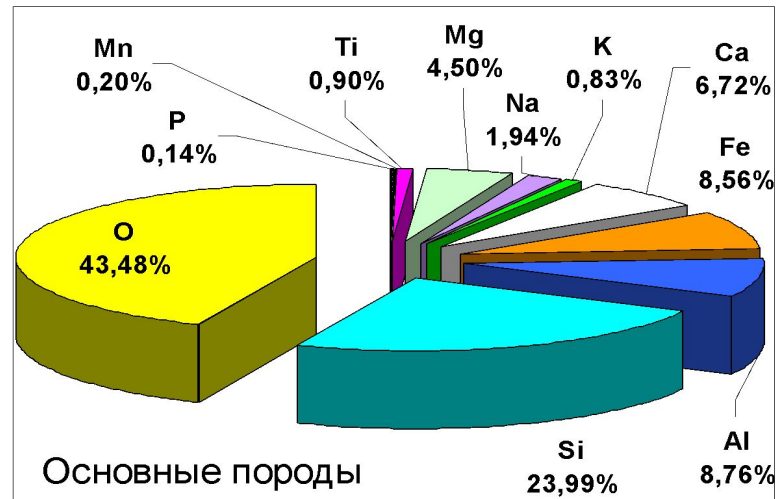
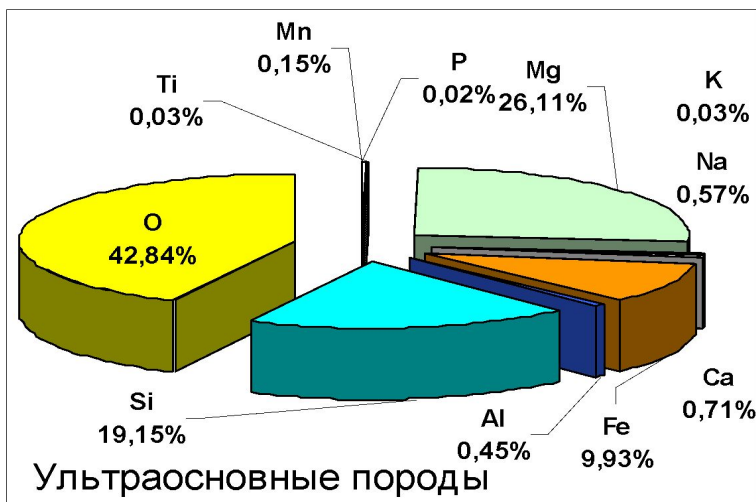
3) Главнейший по распространенности элемент – **кислород (O)**:

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

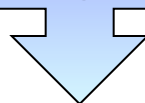


**В ряду магматических пород (от ультраосновного состава до кислого) увеличивается содержание кислорода, кремния и калия и снижется концентрация железа и магния.**



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

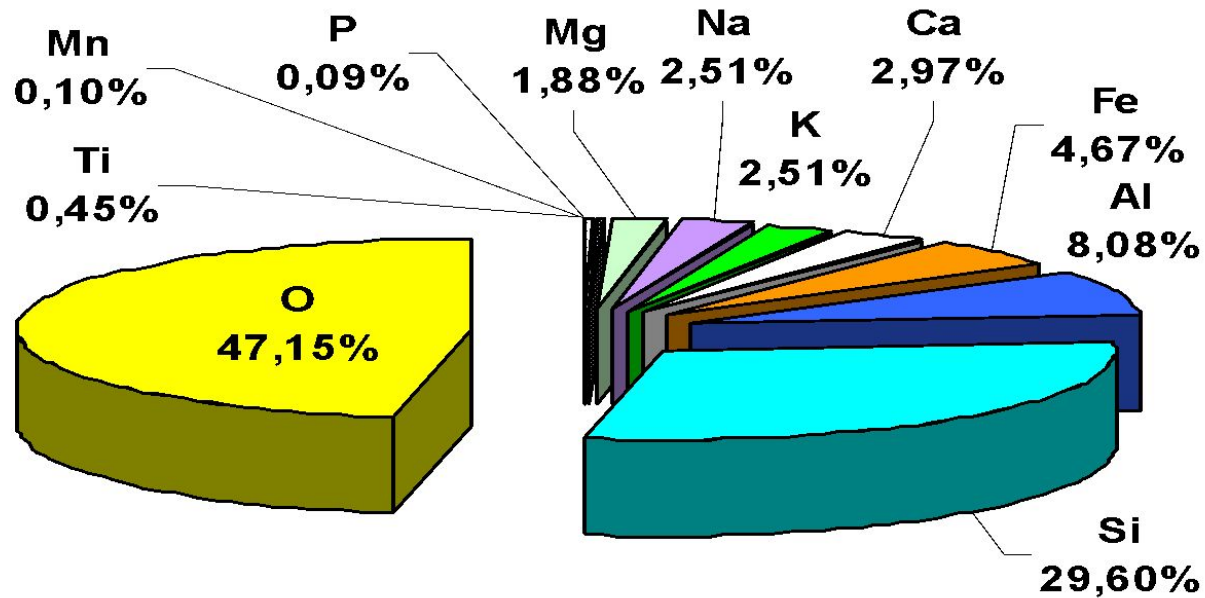
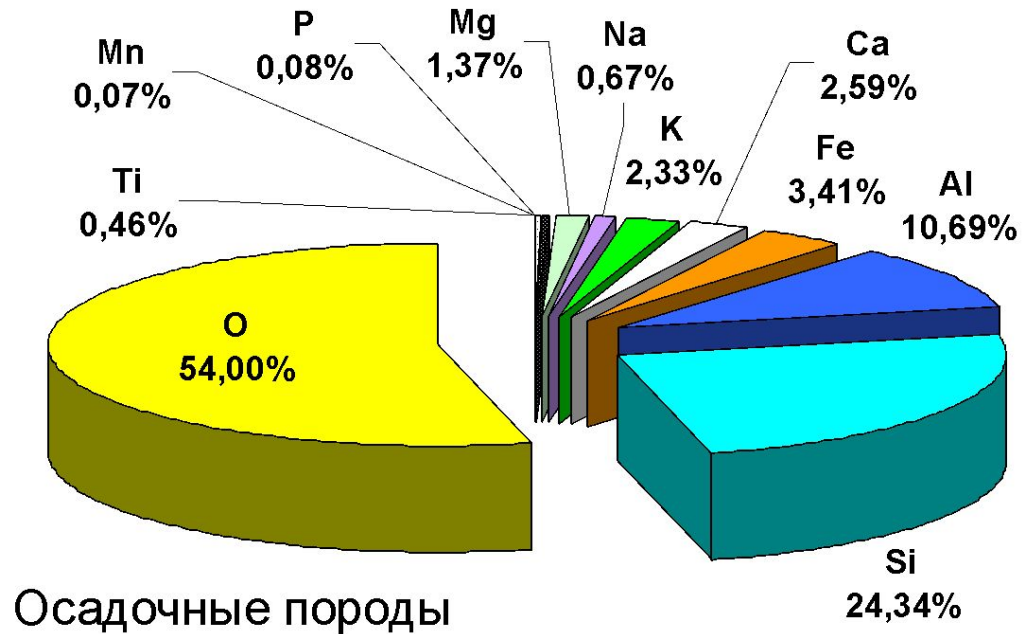
*Cr, Sc, Ni, V, Co, Pt;*

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.