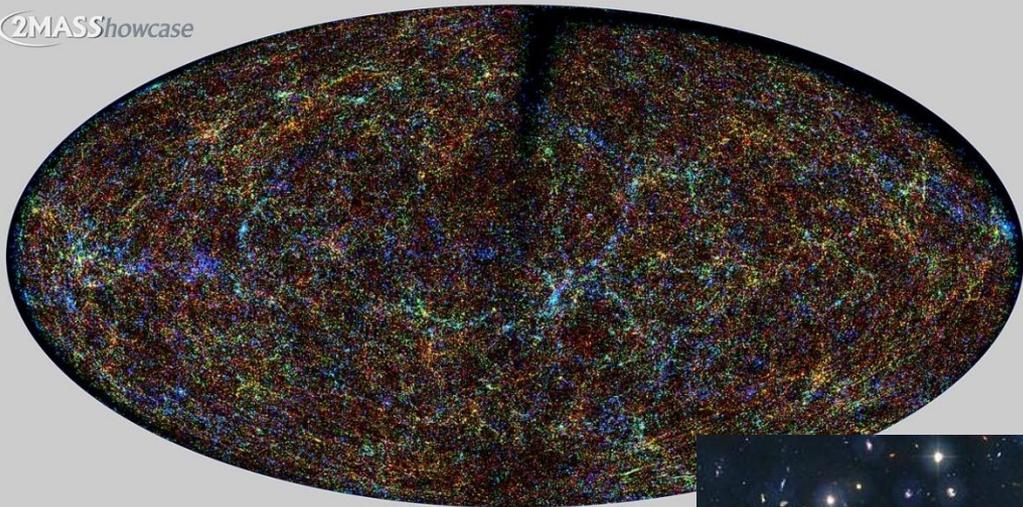


# История химических элементов

Классификация химических  
элементов в географической  
оболочке

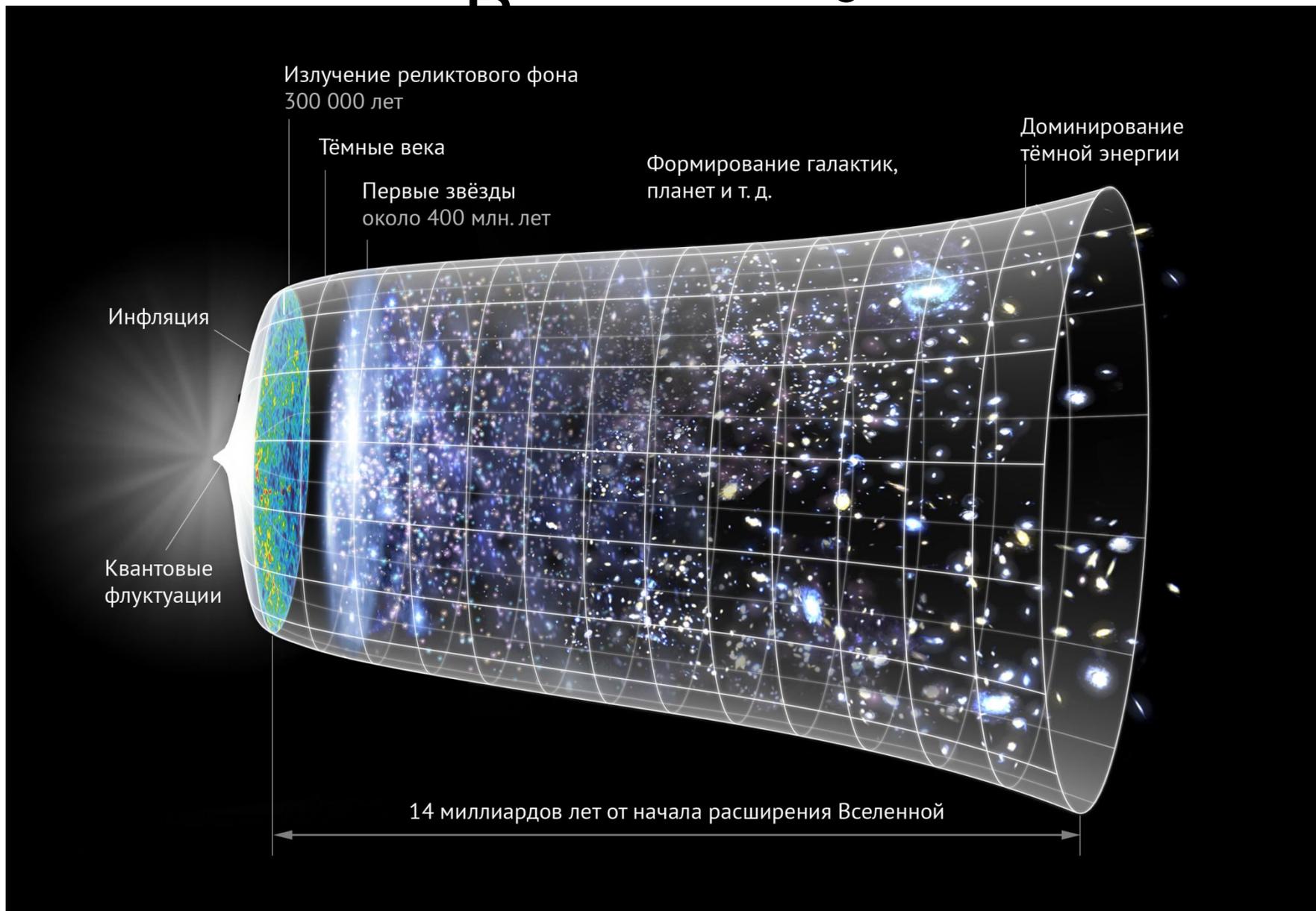
2MASShowcase



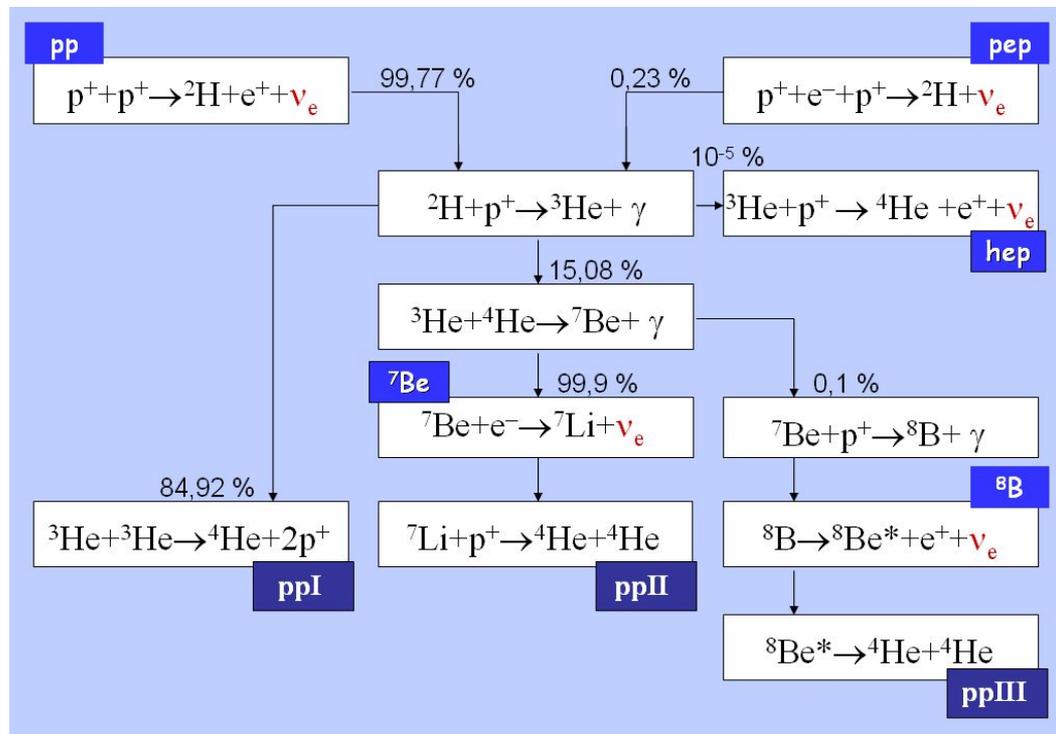
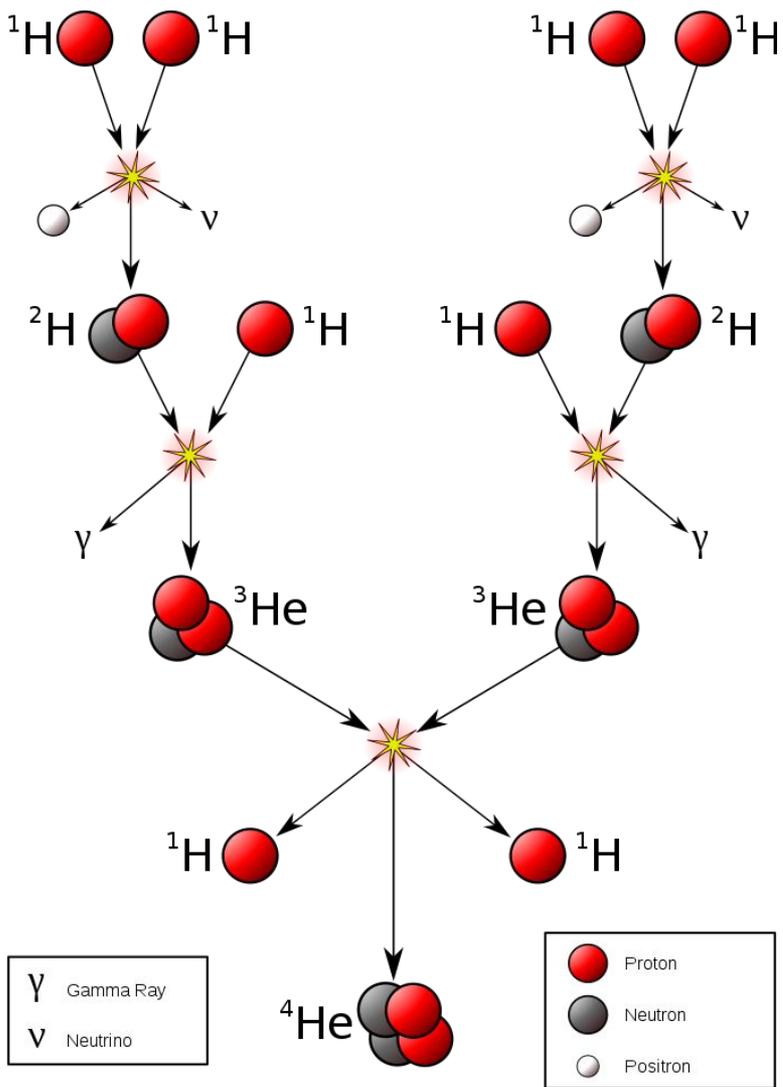
# Вселенная



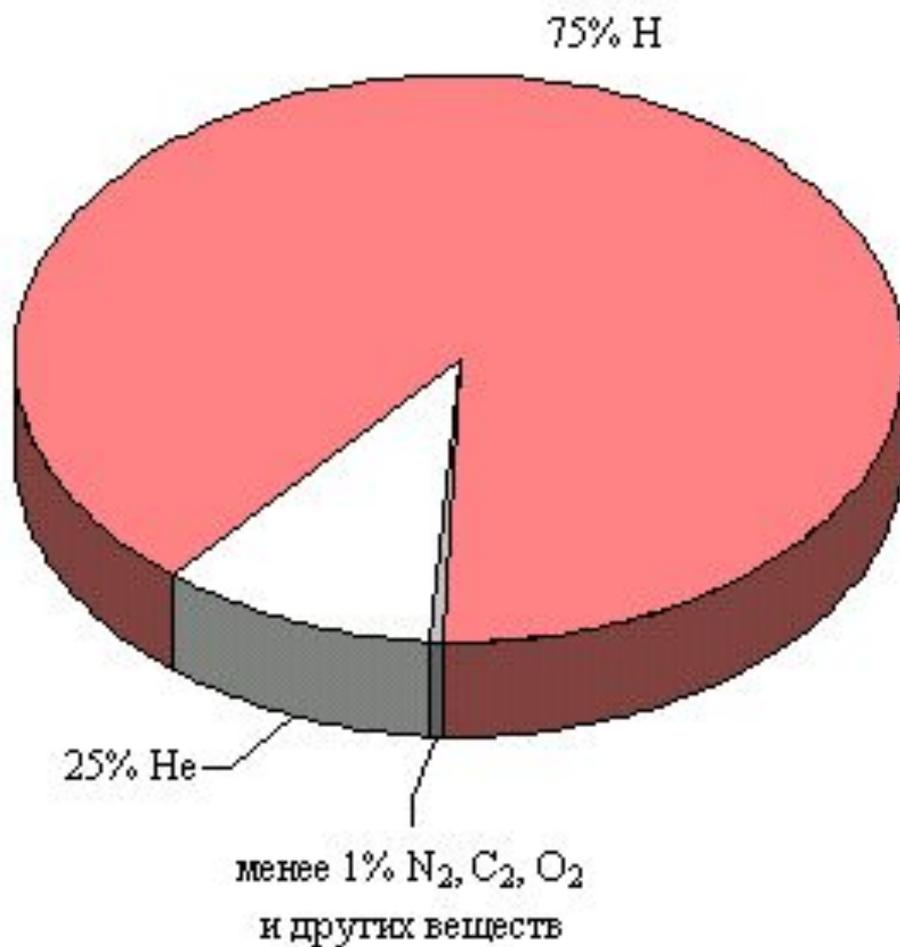
# Общая схема эволюции



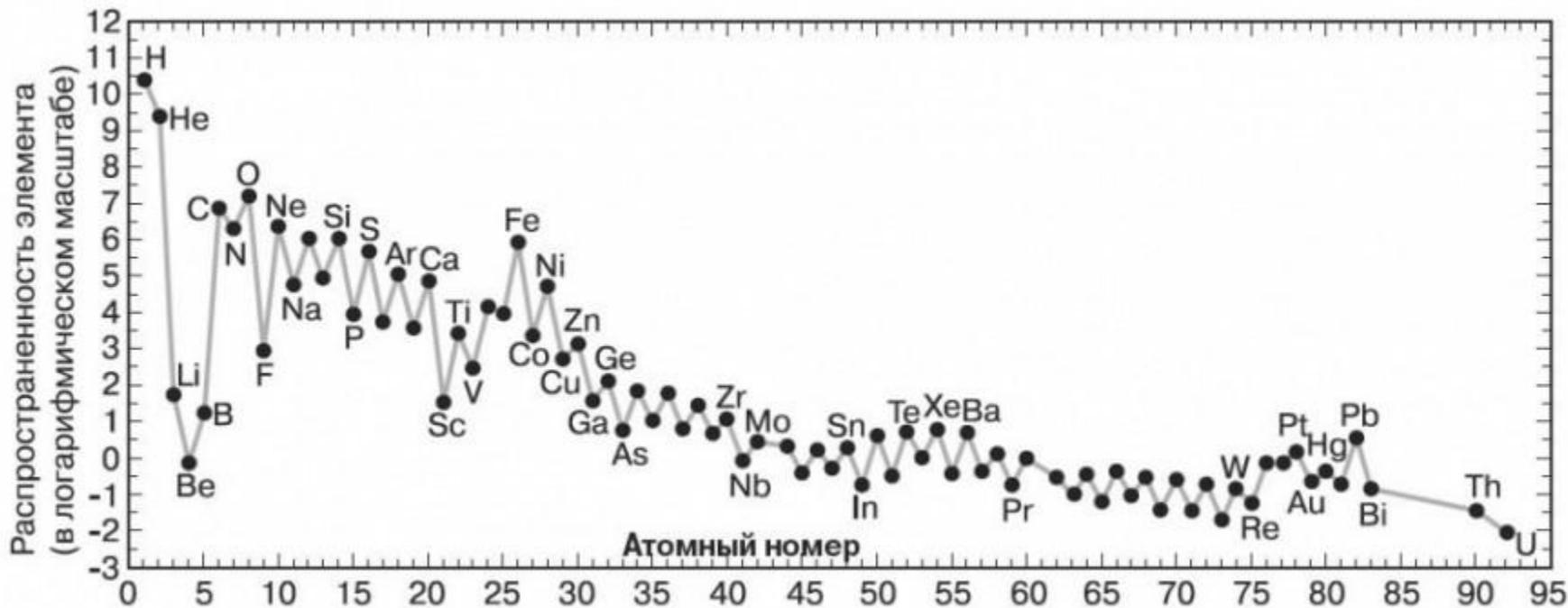
# Синтез химических элементов



# Химический состав Вселенной



# Распространенность химических элементов во Вселенной



# Наиболее распространенные элементы нашей Галактики (Млечного пути)

<b>N</b>	<b>Название</b>	<b>Массовая доля</b>
1	Водород	739 000
2	Гелий	240 000
8	Кислород	10 400
6	Углерод	4 600
10	Неон	1 340
26	Железо	1 090
7	Азот	960
14	Кремний	650
12	Магний	580
16	Сера	440

# Распространенные элементы Вселенной и земной коры

Периоды	Ряды	I группа	II группа	III группа	IV группа	V группа	VI группа	VII группа	VIII группа				Примечание		
1	1	(H)						H водород	He гелий					Наиболее распространенные элементы	
2	2	Li литий	Be бериллий	B бор	C углерод	N азот	O кислород	F фтор	Ne неон					Основные элементы земной коры	
3	3	Na натрий	Mg магний	Al алюминий	Si кремний	P фосфор	S сера	Cl хлор	Ar аргон						
4	4	K калий	Ca кальций	Sc скандий	Ti титан	V ванадий	Cr хром	Mn марганец	Fe железо	Co кобальт	Ni никель				
	5	Cu медь	Zn цинк	Ga галлий	Ge германий	As мышьяк	Se селен	Br бром	Kr кrypton						
5	6	Rb рубидий	Sr стронций	Y итрий	Zr зirconium	Nb ниобий			Tc технеций						
	7	Ag серебро	Cd кадмий	In индий	Sn олово	Sb сурьма	Te теллур	I йод	Xe ксенон						
6	8	Cs цезий	Ba барий	La 57 - Lu 71 лантаны	Hf гафний	Ta тантал	W вольфрам								
	9	Au золото	Hg ртуть	Pt платина	Au золото	Pb свинец	Bi висмут	Po полоний	At астат	Rn радон					
7	10	Hr фрэнсий	Ra радий	Ac 89 - Lr 103 актиноиды	Rf реферфорий	Db дубний	Sg снбгрий	Bh борий	Hs хассий	Mt мейтнерий					
Лантаноиды															
La 57 лантан	Ce 58 церий	Pr 59 празеодим	Nd 60 неодим	Pm 61 прометий	Sm 62 самарий	Eu 63 европий	Gd 64 гадолиний	Tb 65 тербий	Dy 66 диспрозий	Ho 67 гольмий	Er 68 эрбий	Tm 69 тулий	Yb 70 ytterbium	Lu 71 лютеций	
Актинοиды															
Ac 89 актиноид	Th 90 торий	Pa 91 протактиний	U 92 уран	Np 93 нептуний	Pu 94 плутоний	Am 95 амерций	Cm 96 курий	Bk 97 берклий	Cf 98 калфорний	Ba 99 эйнштейний	Fm 100 фермий	Md 101 менделеев	No 102 нобелий	Lr 103 луренсий	

## СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ



# «Микроэлементы»

- Элементы с концентрацией 0,01 – 0,0001 называют **редкими**.
- Если редкий элемент не концентрируется в ЗК, т.е не образует залежей собственных минералов, то его называют **редким рассеянным**.
- Напримар:
  - U – редкий (известны месторождения минералов урана)
  - Br – редкий рассеянный.

# Минералы урана: уранит, карнотит, казолит, тиямунит



# Формы химических элементов по В.И. Вернадскому

- Горные породы и минералы
- Живое вещество,
- Магмы,
- Рассеяние.



**Альбит  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$**



- Медленно растворяется

**Галит  $\text{NaCl}$**



- Быстро растворяется

Группа→ ↓Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Лантаноиды				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Актиноиды				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

# Ряды миграции элементов в окислительной и восстановительной (сероводородной) средах

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБСТАНОВКА					РЕЗКОВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ОБСТАНОВКА (H <sub>2</sub> S)					
Интенсивность миграции	K <sub>x</sub>					K <sub>x</sub>				
	100	10	1	0,1	0,01	100	10	1	0,1	0,01
Очень сильная миграция	S, Cl, Br, I					Cl, Br, I				
Сильная миграция			Ca, Na Mg, F, Sr, Zn, U, Mo, Se			Ca, Na Mg, F Sr				
Средняя миграция			Si, K, Mn, P, Ba, Rb, Ni, Cu, Li, Co, Cs, As, Ti, Ra			Si, K, P Rb, Li, Cs, Ti, Ra				
Слабая и очень слабая миграция			Al, Fe, Ti, Zr, Y, Nb, TR, Th, Be, Ta, Sn, Hf, Pd, Ru, Rh, Os, Pt					Al, Ti, Zr, V, Zn, Ni, Cu, TR, Nb, Co, Sc, Be, Ta, Sn, U, Mo, Hf, Se, Pd, Ru, Rh, Os		

## Геохимическая классификация химических элементов по В.И. Вернадскому

Группа элементов	Элементы	Число элементов
I. Благородные газы	<b>He, Ne, Ar, Kr, Xe</b>	5
II. Благородные металлы	<b>Au, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt</b>	7
III. Циклические элементы	<b>H, Be, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Se, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, Hf, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi</b>	44
IV. Рассеянные элементы	<b>Li, Sc, Ga, Br, Rb, Y, Nb, Cs, Ta, In, I</b>	11
V. Радиоактивные элементы	<b>Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U</b>	7
VI. Редкоземельные, элементы	<b>La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu</b>	15

# Классификация элементов по М. В. Гольдшмиту

siderофильные	халькофильные		литофильные	атмофильные	биофильные
	в метеоритах	в земной коре			
Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, (Cu), Au, Re, (Mo), (W), N, P, (As), C, Ge, Sn, (Ga), (Hg)	Fe, S, Se, Te, (P), As, Sb, Bi, Zn, Cd, Cu, Ag, (Mn), (Cr), (V), (Ti), (Ca), (Mg), (Na), (K)	Fe, S, Se, Te, As, Sb, Bi, (Ge), (Sn), Pb, Ga, In, Tl, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, (Mn), Mo	Fe, O, (P), (C), (H), F, Cl, Br, J, Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, B, At, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U, Si, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, W, Mn, (Ga), (Sn)	H, C, H, O, Cl, Br, J, He, Ne, Ar, Kr, Xe	C, H, O, N, P, S, Cl, Br, J, B, Na, K, Mg, Ca, V, Mn, F, Co, Cu, Zn, Mo MAP.

**Примечание.** В скобках указаны элементы с промежуточными свойствами, для которых проявление сидерофильных, халькофильных или литофильных свойств является второстепенной, но геохимически важной чертой поведения.

Фиг. 4-1. Геохимическая классификация элементов. По В. М. Гольдшмидту.

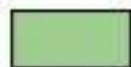
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II	III	IV	V	VI	VII	( )
1	<sup>1</sup> H																	<sup>2</sup> He
2	<sup>3</sup> Li	<sup>4</sup> Be	<sup>5</sup> B										<sup>6</sup> C	<sup>7</sup> N	<sup>8</sup> O	<sup>9</sup> F	<sup>10</sup> Ne	
3	<sup>11</sup> Na	<sup>12</sup> Mg	<sup>13</sup> Al										<sup>14</sup> Si	<sup>15</sup> P	<sup>16</sup> S	<sup>17</sup> Cl	<sup>18</sup> Ar	
4	<sup>19</sup> K	<sup>20</sup> Ca	<sup>21</sup> Sc	<sup>22</sup> Ti	<sup>23</sup> V	<sup>24</sup> Cr	<sup>25</sup> Mn	<sup>26</sup> Fe	<sup>27</sup> Co	<sup>28</sup> Ni	<sup>29</sup> Cu	<sup>30</sup> Zn	<sup>31</sup> Ga	<sup>32</sup> Ge	<sup>33</sup> As	<sup>34</sup> Se	<sup>35</sup> Br	<sup>36</sup> Kr
5	<sup>37</sup> Rb	<sup>38</sup> Sr	<sup>39</sup> Y	<sup>40</sup> Zr	<sup>41</sup> Nb	<sup>42</sup> Mo	<sup>43</sup> Tc	<sup>44</sup> Ru	<sup>45</sup> Rh	<sup>46</sup> Pd	<sup>47</sup> Ag	<sup>48</sup> Cd	<sup>49</sup> In	<sup>50</sup> Sn	<sup>51</sup> Sb	<sup>52</sup> Te	<sup>53</sup> I	<sup>54</sup> Xe
6	<sup>55</sup> Cs	<sup>56</sup> Ba	<sup>57-71</sup> TR	<sup>72</sup> Hf	<sup>73</sup> Ta	<sup>74</sup> W	<sup>75</sup> Re	<sup>76</sup> Os	<sup>77</sup> Ir	<sup>78</sup> Pt	<sup>79</sup> Au	<sup>80</sup> Hg	<sup>81</sup> Tl	<sup>82</sup> Pb	<sup>83</sup> Bi	<sup>84</sup> Po	<sup>85</sup> At	<sup>86</sup> Rn
7	<sup>87</sup> Fr	<sup>88</sup> Ra	<sup>89</sup> Ac	<sup>90</sup> Th	<sup>91</sup> Pa	<sup>92</sup> U												



1



2



3



4

# Оценка интенсивности миграции элементов.

- - определяется путем деления содержания элемента в горной породе на его содержание в омывающих породу водах

# Интенсивность миграции по Б. Б. Польшину (1933)

<i>Компоненты</i>	<i>Средний химический состав кристаллических горных пород, %</i>	<i>Средний химический состав растворенных веществ в водах, омывающих горные породы, %</i>	<i>Миграционная способность (условные единицы)</i>
SiO <sub>2</sub>	59,09	12,80	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,35	0,90	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,29	0,40	0,04
Ca <sup>2+</sup>	3,60	14,70	3,0
Mg <sup>2+</sup>	2,11	4,90	1,3
Na <sup>+</sup>	2,97	9,50	2,4
K <sup>+</sup>	2,57	4,40	1,25
Cl <sup>-</sup>	0,05	6,75	100
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,15	11,60	57
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	—	36,50	∞

# Миграционные ряды элементов

Таблица 5

Миграционные ряды элементов в коре выветривания  
(по Б. Б. Польшину, 1956)

Ряд элементов	Состав ряда	Показатели порядка величин миграции
Энергично выносимые	Cl, (Br, J), S	$2n \cdot 10$
Легко выносимые	Ca, Na, Mg, K	$n \cdot 10$
Подвижные	SiO <sub>2</sub> , P, Mn	$n \cdot 10^{-1}$
Инертные (слабоподвижные)	Fe, Al, Ti	$n \cdot 10^{-2}$
Практически неподвижные	SiO <sub>2</sub> кварца	$n \cdot 10^{-4}$

# Классификация геохимических мигрантов



<b>ВОЗДУШНЫЕ МИГРАНТЫ</b>	
<b>Активные</b> (образуют химические соединения)	<b>Пассивные</b> (не образуют химические соединения)
O, H, C, N, I	Ar, He, Ne, Kr, Xe, Rn
<b>ВОДНЫЕ МИГРАНТЫ</b>	
<b>Катионогенные</b>	<b>Анионогенные</b>
<i>Очень подвижные</i>	
Ca, Na, Mg, Sr, Ra	Cl, Br, S, F, B
<i>Слабо подвижные</i>	
K, Ba, Rb, Li, Be, Cs, T	Si, P, Ge, Sn, Sb, As
<i>Подвижные и слабо подвижные в окислительной обстановке и инертные в сероводородной среде, осаждаются на щелочных барьерах, мигрируют в окислительной обстановке</i>	
Zn, Cu, Ni, Pb, Cd	Hg, Ag, Bi
<i>Подвижные и слабо подвижные в окислительной обстановке, инертные в восстановительной среде, осаждаются на сероводородных и глеевых барьерах</i>	
V, Mo, Se, U, Re	
<i>Подвижные и слабо подвижные в восстановительной глеевой среде, инертные в окислительной и восстановительной сероводородной средах</i>	
Fe, Mn, Co	
<b>Мало подвижные в большинстве обстановок</b>	
<i>Слабая миграция с органическими комплексами. Частично мигрируют в сильно кислой среде:</i>	<i>Частично мигрируют в щелочной среде:</i>
Ti, Cr, Ce, Nb, Y, La, Ga, Th, Sc, Sm, Gd	Zr, Nb, Ta, W, Hf, Ter, Tb, Ho, Eu, Yb, In, Lu
<i>Не образуют химических соединений (самородковое состояние)</i>	
Os, Pd, Ru, Pt, Au, Rh, Zr	

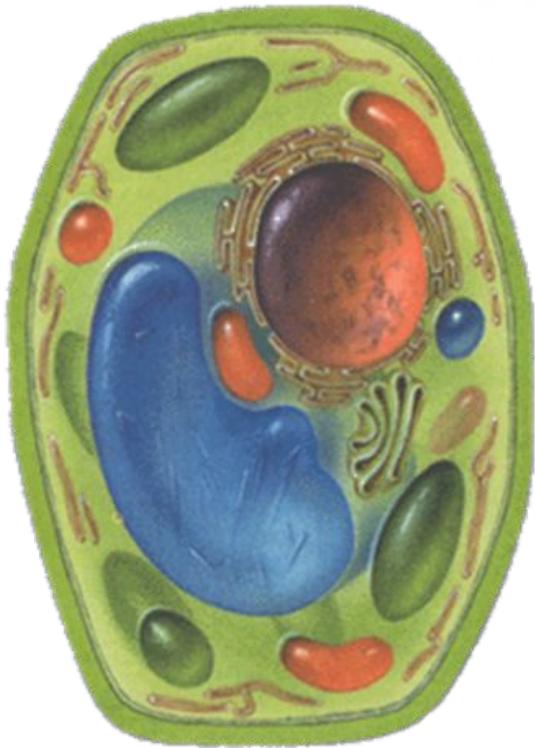
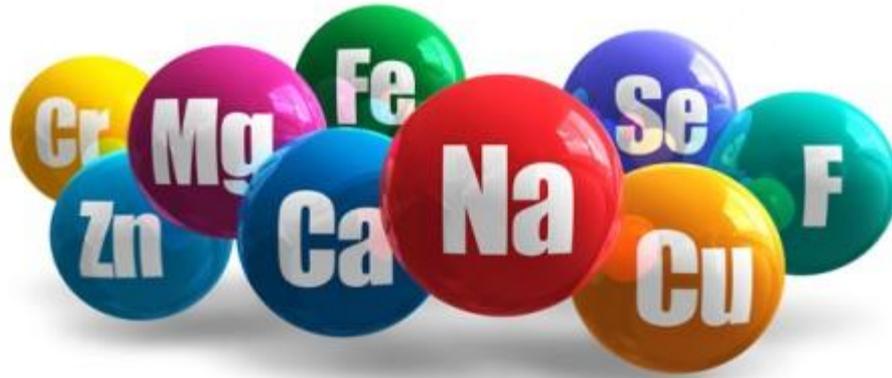
Классификация элементов по миграционной способности (А.И. Перельман)

# Классификация элементов в живом веществе (Вернадский-Виноградов-Добровольский)

- **А. Воздушные мигранты (98,8%):** O – 70%, C – 8%, H – 10,5%, N – 0,3%.
- **Б. Водные мигранты (1,2%):**
  - *Макроэлементы:* Ca – 0,5%, K – 0,3%, Si – 0,2%, Mg – 0,04%, P – 0,07%, S – 0,05%, Na – 0,02%, Cl – 0,02%, Fe – 0,01%.
  - *Микроэлементы:* Mn –  $9,6 \cdot 10^{-3}$ , Al –  $5 \cdot 10^{-3}$ , Zn –  $2 \cdot 10^{-3}$ , Sr –  $1,6 \cdot 10^{-3}$ , Ti –  $1,3 \cdot 10^{-3}$ , Cu –  $3,2 \cdot 10^{-4}$ , Pb  $1 \cdot 10^{-4}$ , Co –  $4 \cdot 10^{-5}$  ... (Zr, Rb, Br, Li, Y, La, Mo, I, Sn, As, Be, Ga, Se, W, Ag, U, Hg, Sb, Cd, Au...)

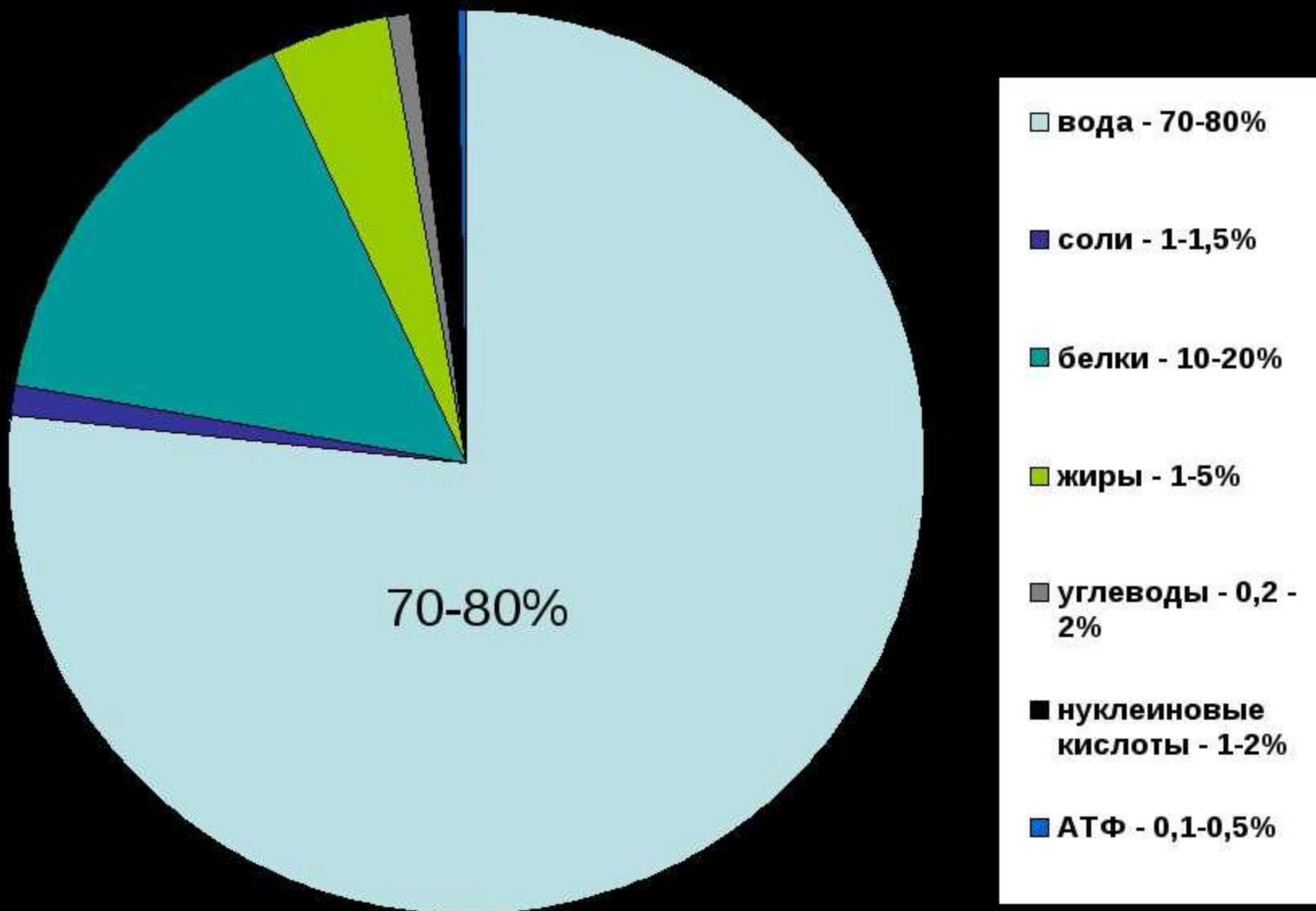
## Классификация элементов в живом веществе (Вернадский-Виноградов-Добровольский)

- **В. Элементы обнаруженные в живом веществе, но их *кларки* не установлены:** He, Ne, Ar, Sc, Kr, Nb, Rh, Pd, In, Te, Xe, Ta, Tl, Bi, Th....
- **Г. Не обнаруженные в живом веществе:** Ru, Hf, Re, Os, Ir, Po, Ac, Tc, At, Fr/



Зачем нужны  
химические  
элементы  
организмам?

## Химический состав клетки



# Атмофильные элементы

- Составляют основу (каркас живых организмов). Из них состоит вода, белки, углеводы, нуклеиновые кислоты, основа АТФ и других органических соединений (энзимы, ферменты, витамины и т.д.)

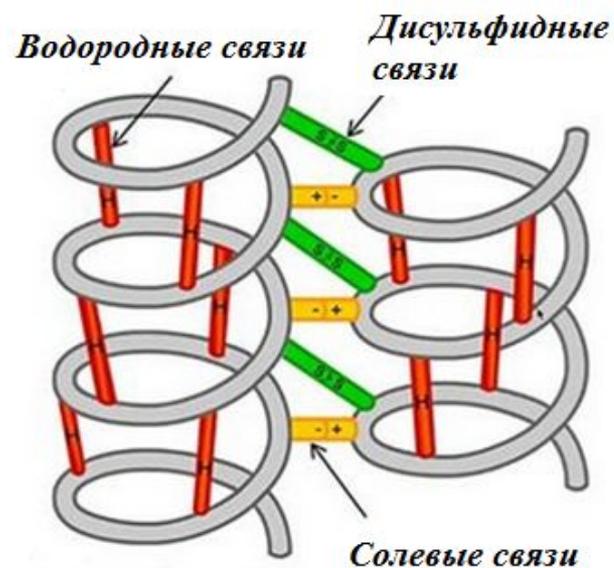
# Макроэлементы

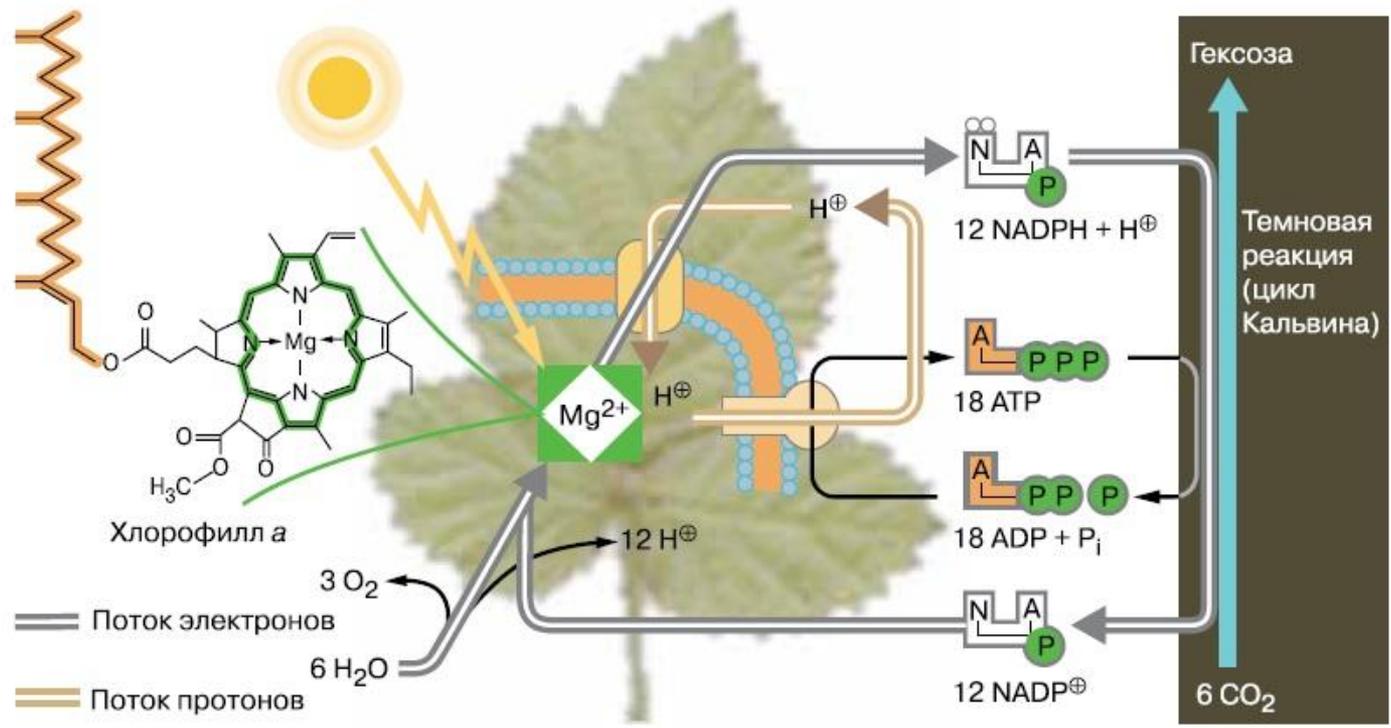
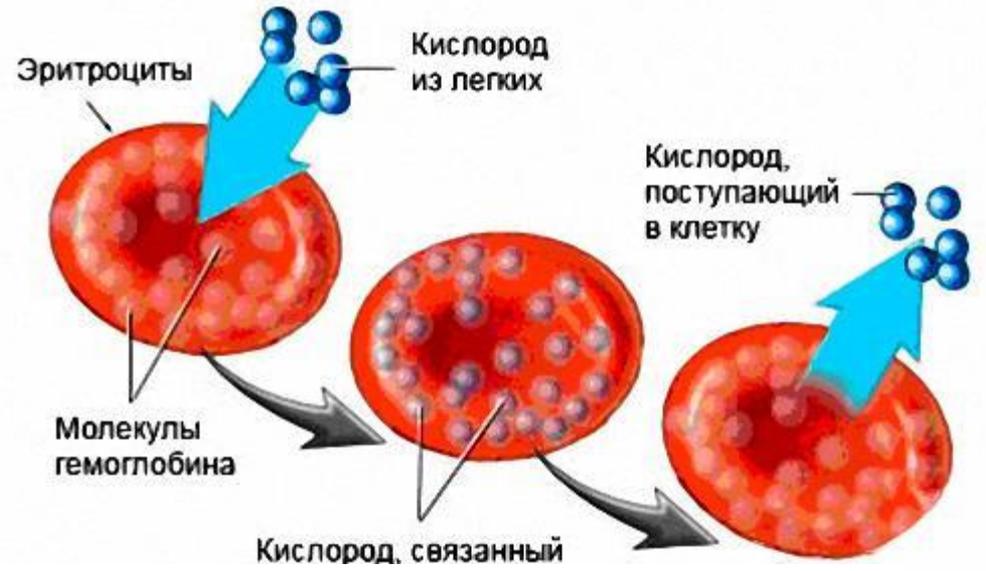
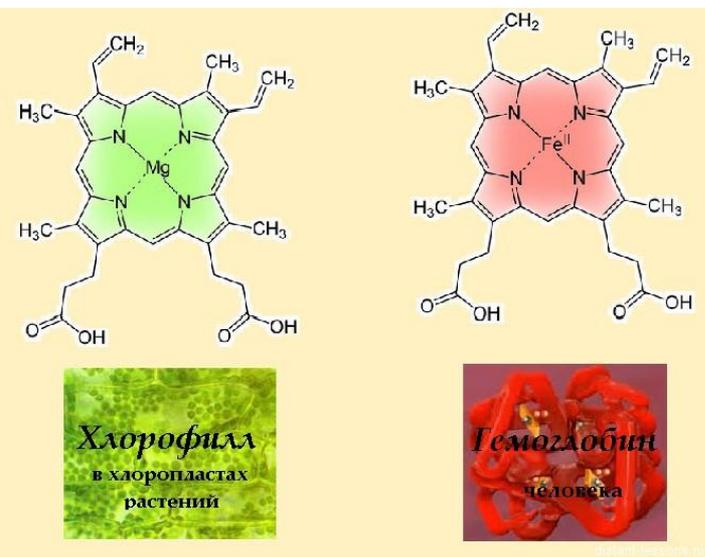
- Участвуют в сборе органических молекул, придают им правильную форму, осуществляют функции «хранения» электронов.

## Строение волокон кортекса



## Связи между элементарными волокнами





# Микроэлементы

- Входят в состав биологически активных веществ (гормонов, ферментов, витаминов и д.р.)



# Закономерности концентрации элементов в живом веществе

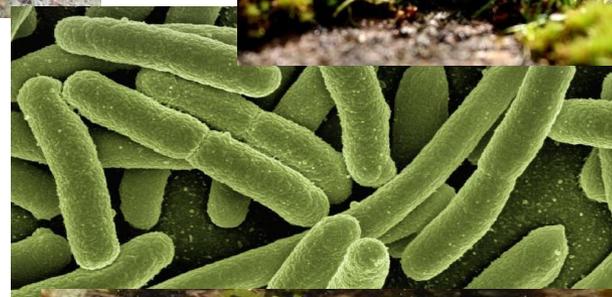
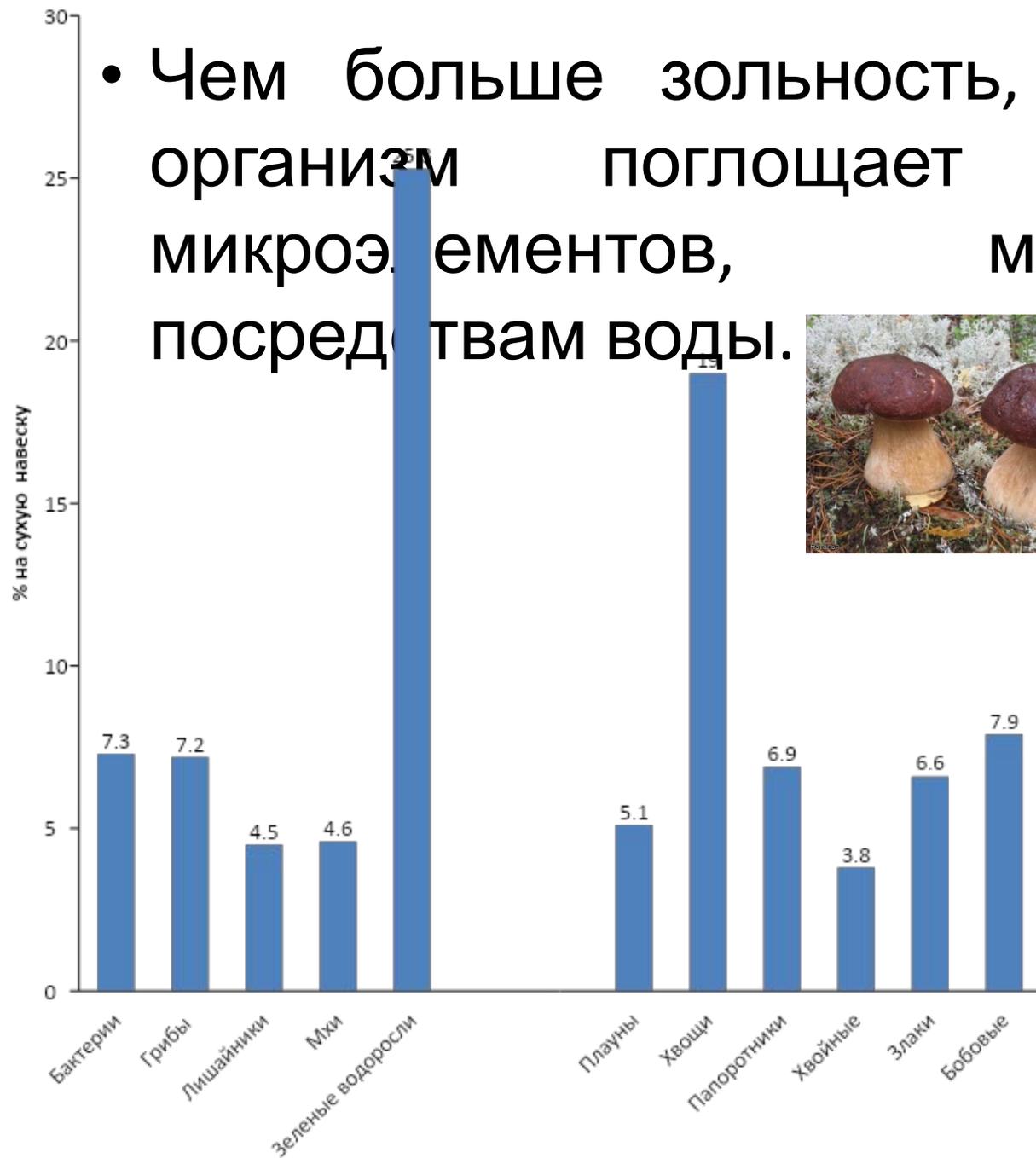
- 1. Кларки концентрации элементов в живом веществе уменьшаются с ростом атомной массы
- 2. Организмы – кислородные существа.
- Живое образует органическое вещество из газов. После смерти органическое вещество вновь превращается в газы.
- Интенсивность захвата элемента живыми организмами зависит от его подвижности, а не от кларка (например –

# Интенсивность биологического поглощения

- Кларки концентрации элементов в живом веществе называются **биофильностью**. Наибольшей биофильностью обладает С (7800), менее биофильны N (160) и H (70). Близки по биофильности анионогенные элементы – O (1,5), Cl (1,1), S (1), P (0,75), B (0,83), Br (0,71) и т.д. Наименее биофильны Fe (0,002) и Al (0,0006) и др. металлы.

- Для понимания геохимии живого важно определять элементы-мигранты не только в живых организмах как таковых, но и в сухом веществе (т.е. золе).
- В процессе сжигания образца организма из него удаляются *атмофильные* элементы (С,О,Н,Н).
- Зольность (содержание золы) – показатель содержания элементов, являющихся водными мигрантами.

- Чем больше зольность, тем больше организм поглощает макро- и микроэлементов, мигрирующих посредством воды.



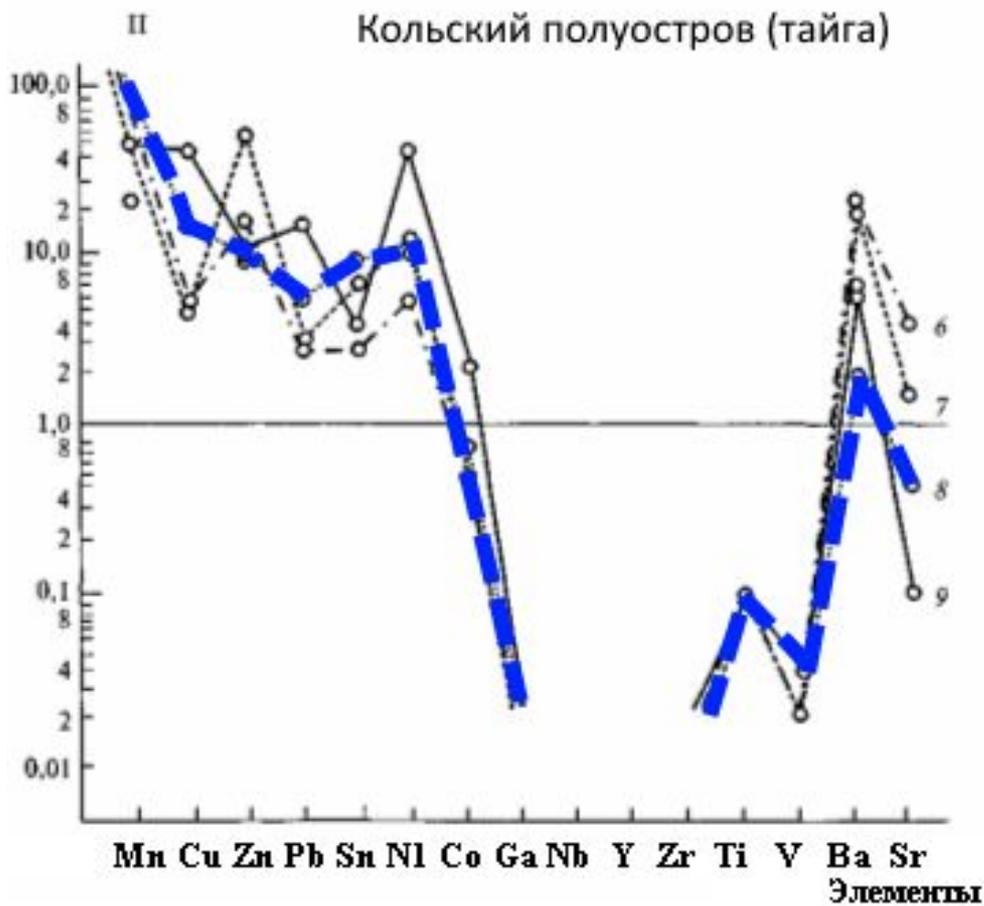
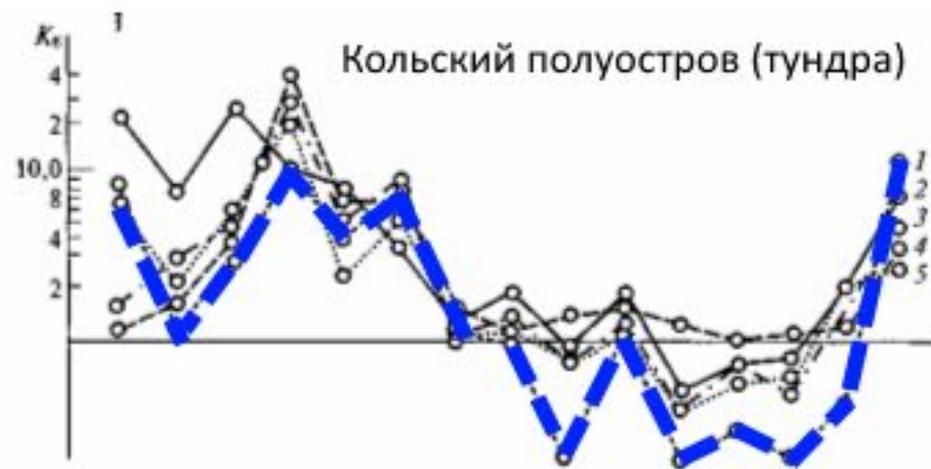
# Коэффициент биологического поглощения

$$A_x = I_x / n_x,$$

- где  $I_x$  – содержание элемента  $x$  в золе растения,  $n_x$  – в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение.

## **Коэффициент биологического поглощения зависит от:**

- От свойств элемента (от биофильности элемента) – насколько элемент вообще необходим живому.
- От особенностей физиологии организма – насколько данному организму необходим конкретный элемент.
- От доступности элемента:
  - В какой форме он находится,
  - Какие природные условия на конкретной территории (климат, увлажнение),
  - Концентрация элементы (много его или

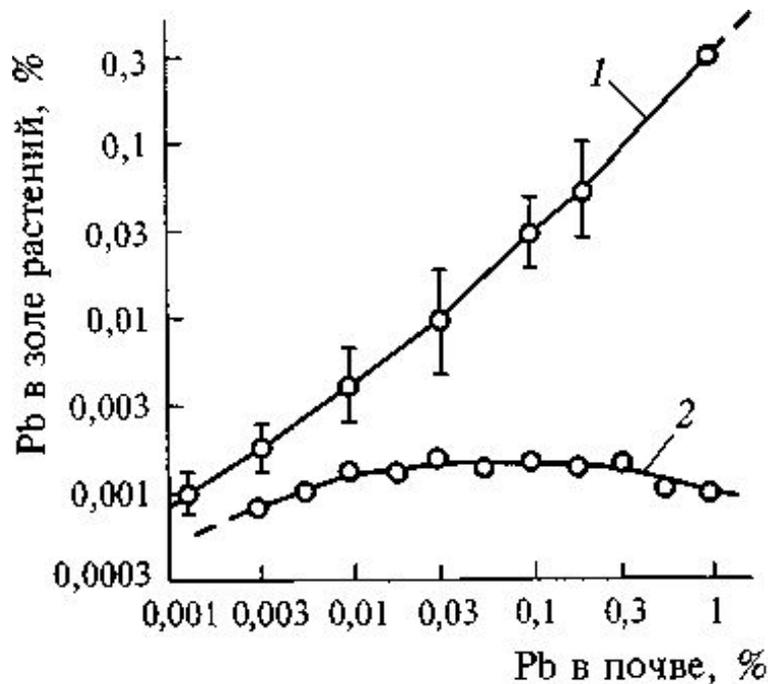


Коэффициент  
биологического  
поглощения в  
листьях **Черники  
обыкновенной**  
(*Vaccinium myrtillus*)  
в природных зонах  
Кольского  
полуострова



В разных органах концентрации элементов – разные.

Растения способны избирательно поглощать элементы.



- *Зависимость между концентрацией свинца в почве и золе растений на биогеохимической аномалии (среднее для 16 видов) .*

*1 – в корнях растений,*

*2 – в вегетативных надземных органах.*

# Ряды биологического поглощения

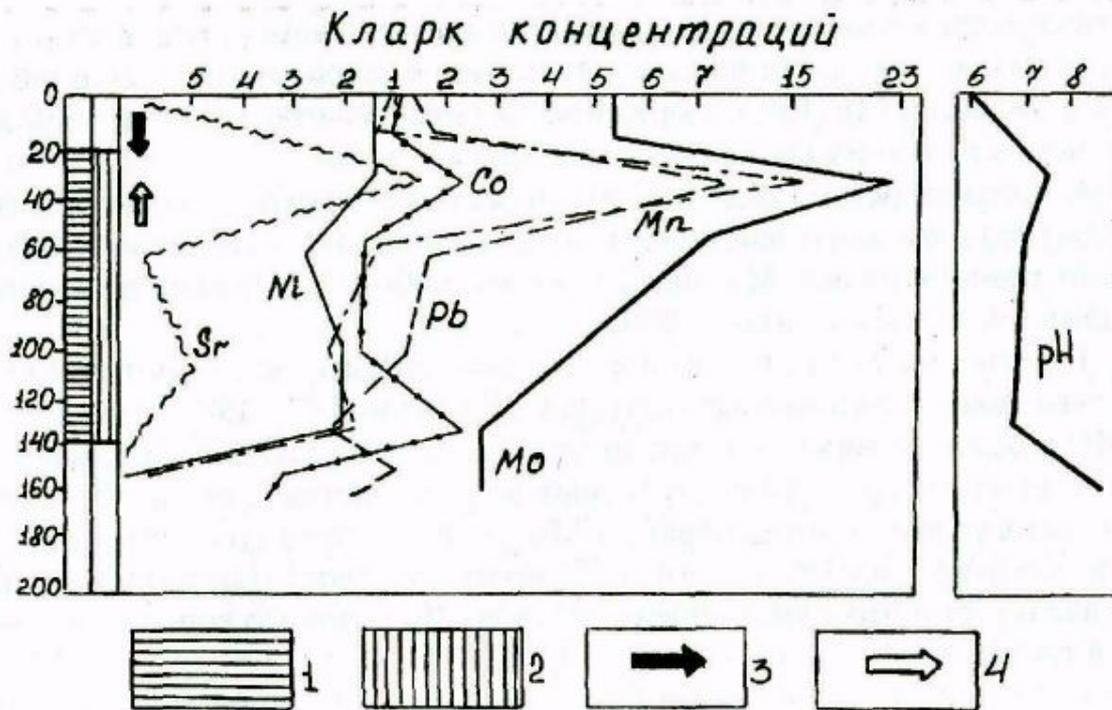
		Коэффициенты биологического поглощения				
		100 n	10 n	n	0, n	0,0n - 0,00n
Элементы биологического накопления	Энергичного	P, S, Cl, Br, I				
	Сильного			Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se		
Элементы биологического захвата	Среднего				Mn, F, Ba, Ni, Cu Ga, Co, Pb, Sn, As Mo, Hg, Ag, Ra	
	Слабого и очень слабого				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd	

# **Геохимические барьеры**

# Геохимические барьеры

- - участки земной коры, в пределах которых на коротких расстояниях происходит резкое уменьшение интенсивности миграции элементов и, как результат, их накопление.

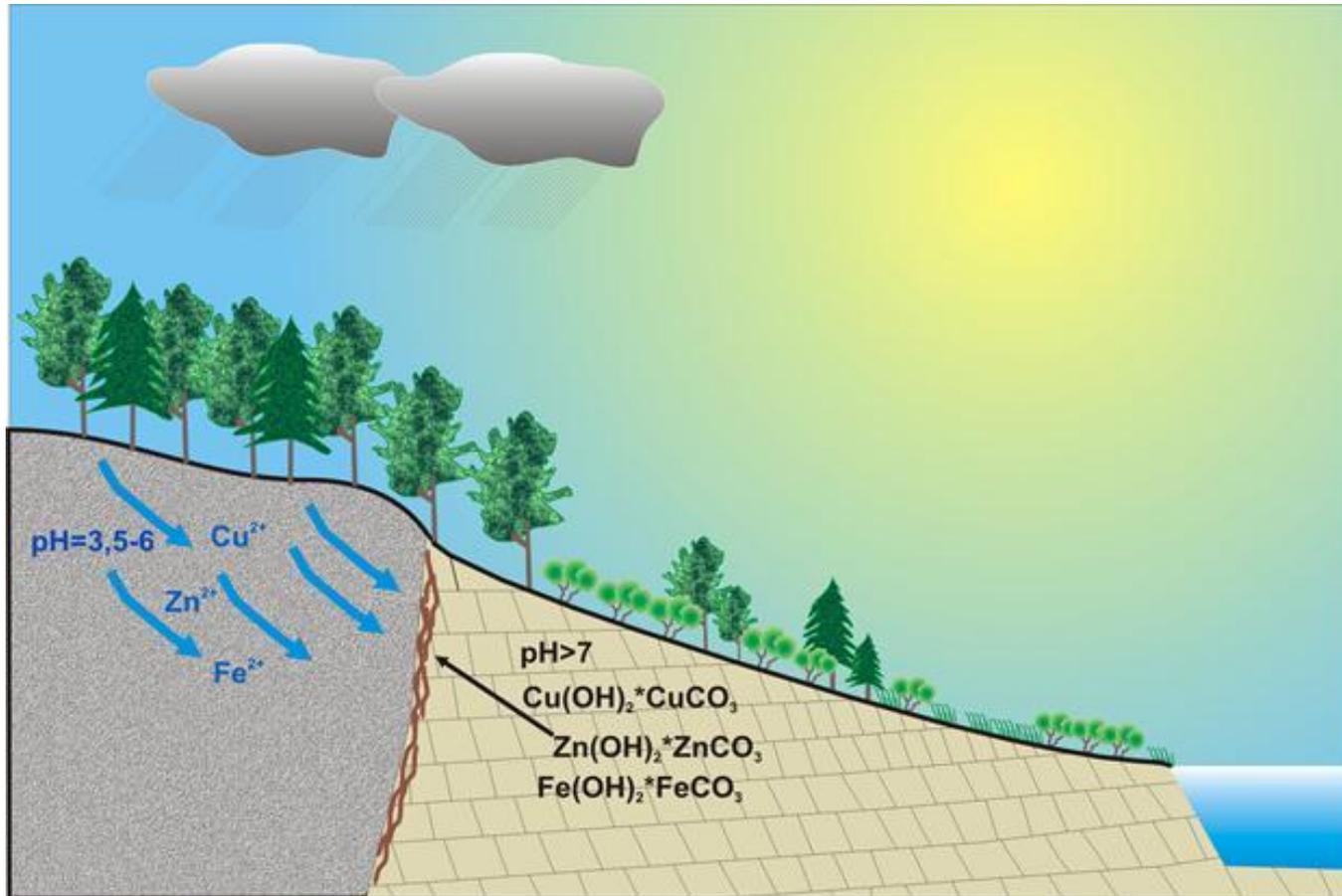
# Радиальный барьер



Накопление химических элементов на щелочном барьере (по Н.С. Касимову):

1 — карбонатизация; 2 — огипсование; 3 — направление движения кислых и слабокислых растворов; 4 — направление движения слабощелочных растворов

# Латеральный барьер



- изверженные породы



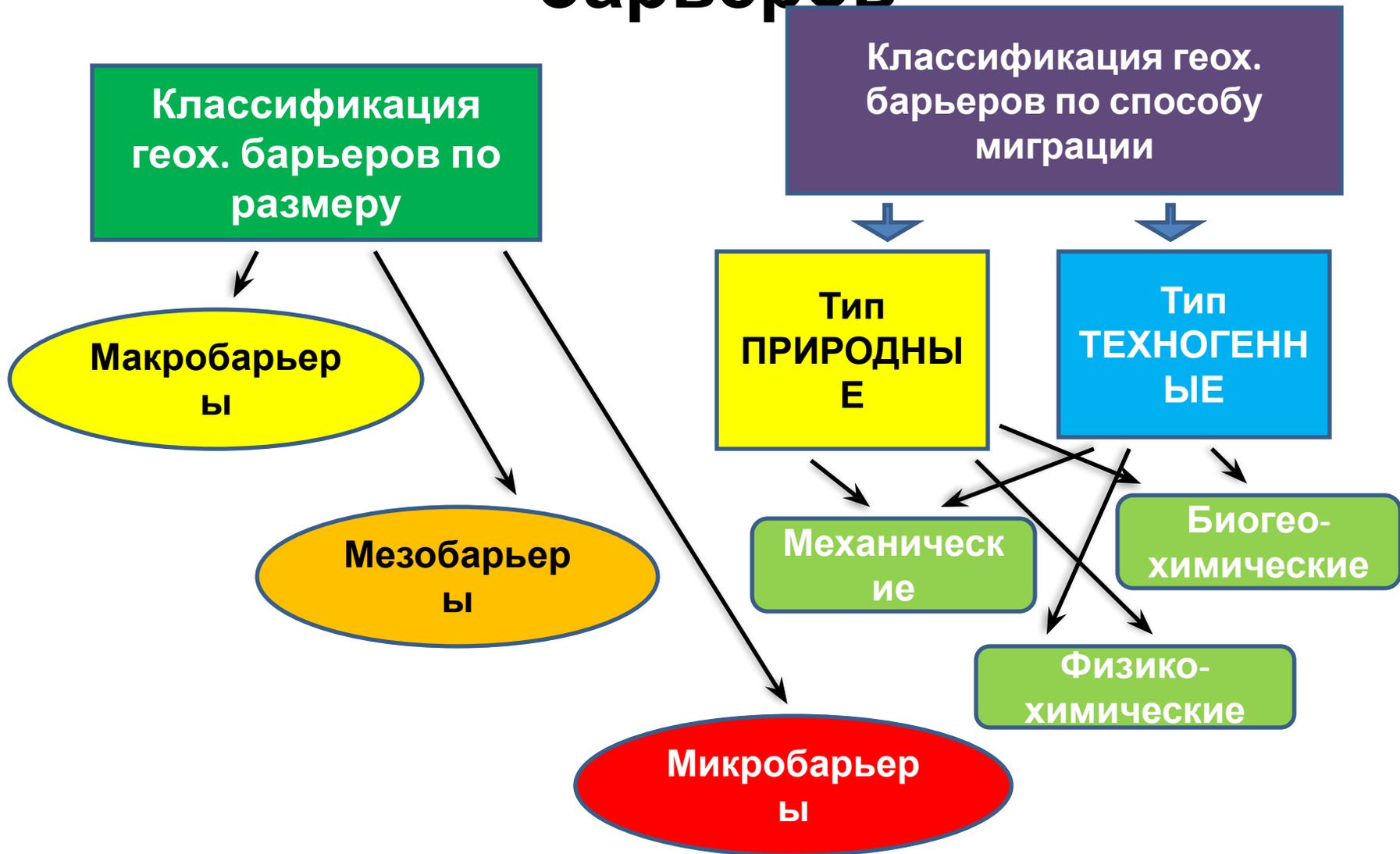
- щелочной геохимический барьер



- карбонатные породы

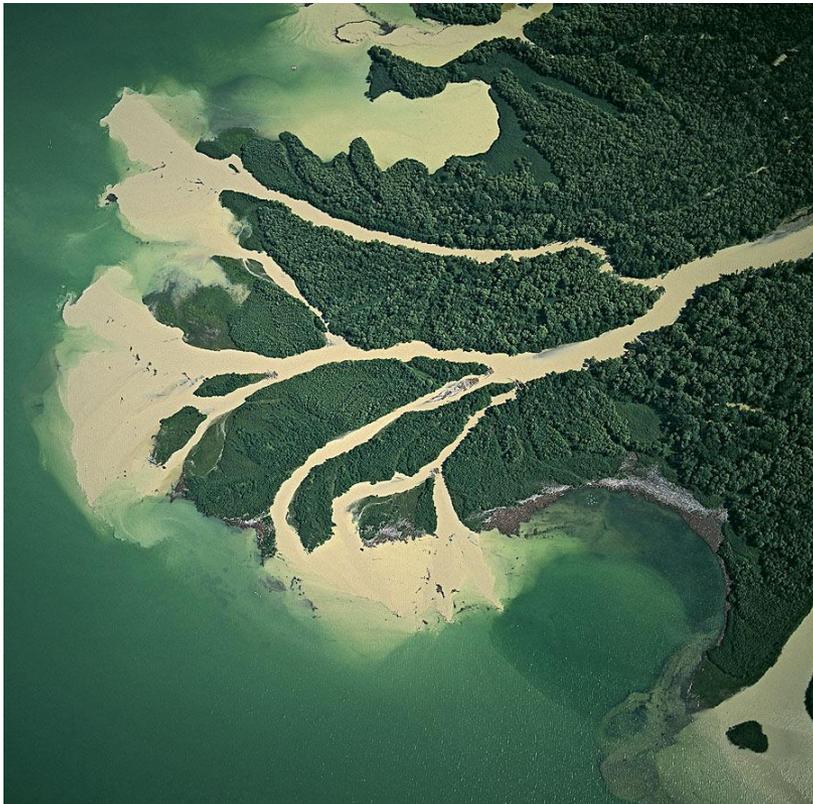
- На геохимических барьерах образуются руды большинства месторождений, различные геохимические аномалии, приводящие к загрязнению окружающей среды и другие практически важные виды концентрации элементов.

# Классификация геохимических барьеров



# Макробарьеры

- Ширине – сотни и тысячи метров.
- *Пример: устье реки.*



СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД (% по массе)

Морская вода				Речная вода			
Катионы		Анионы		Катионы		Анионы	
<b>Na<sup>+</sup></b>	1,08	<b>Cl<sup>-</sup></b>	1,94	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,0013	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,0059
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,13	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	0,27	<b>Na<sup>+</sup></b>	0,0005	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	0,0012
Ca <sup>2+</sup>	0,04	S <sup>2-</sup>	0,09	Mg <sup>2+</sup>	0,0003	Cl <sup>-</sup>	0,0006
K <sup>+</sup>	0,04	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,01	K <sup>+</sup>	0,0002	S <sup>2-</sup>	0,0004

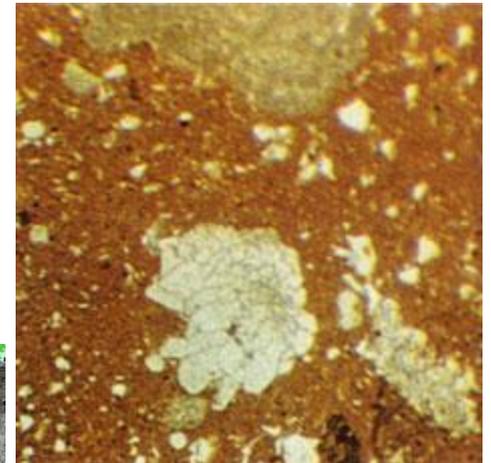
# Мезобарьеры

- Ширина – десятки и сотни метров.
- Пример: краевые зоны болот, водоносные горизонты и т.п.



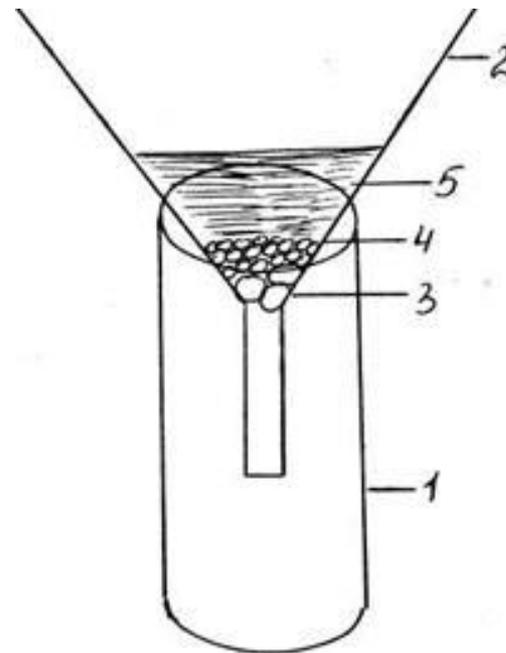
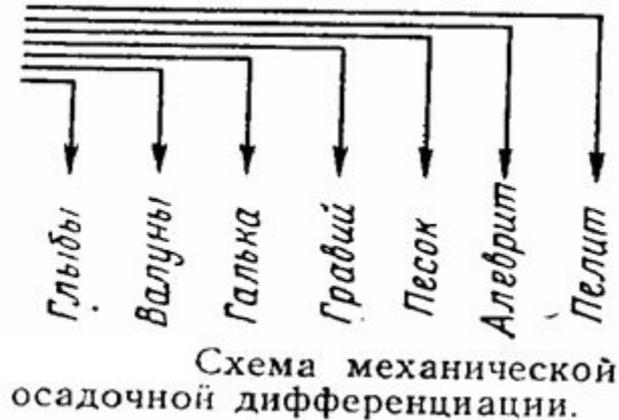
# Микробарьеры

- Ширина – десятки сантиметров и первые метры.
- *Пример: новообразования в почвах.*



# Механические барьеры

- участок резкого уменьшения механической миграции.
- часто зависит от изменения скорости воды или от изменения фильтрационных свойств среды

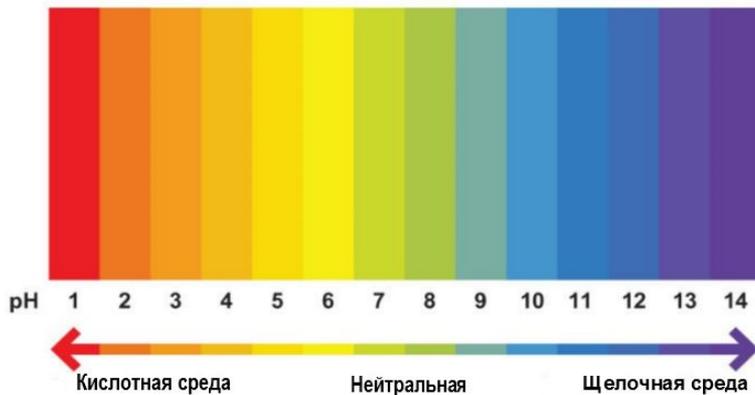


# Физико-химические барьеры

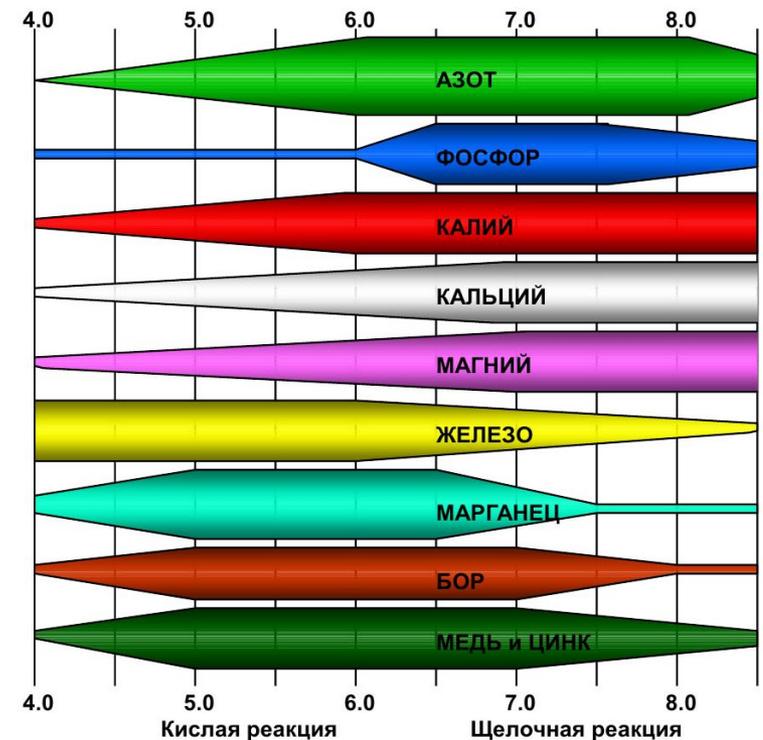
- участки, в пределах которых резко меняются температура, давление, окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия.
- Зависят от содержания в воде и воздухе  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $S^{2-}$ ,  $HS^-$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$  и др.

# Типы вод по кислотности

- Кислые рН <6,5
- Нейтральные рН 6,5-7,5,
- Щелочные рН >7,5



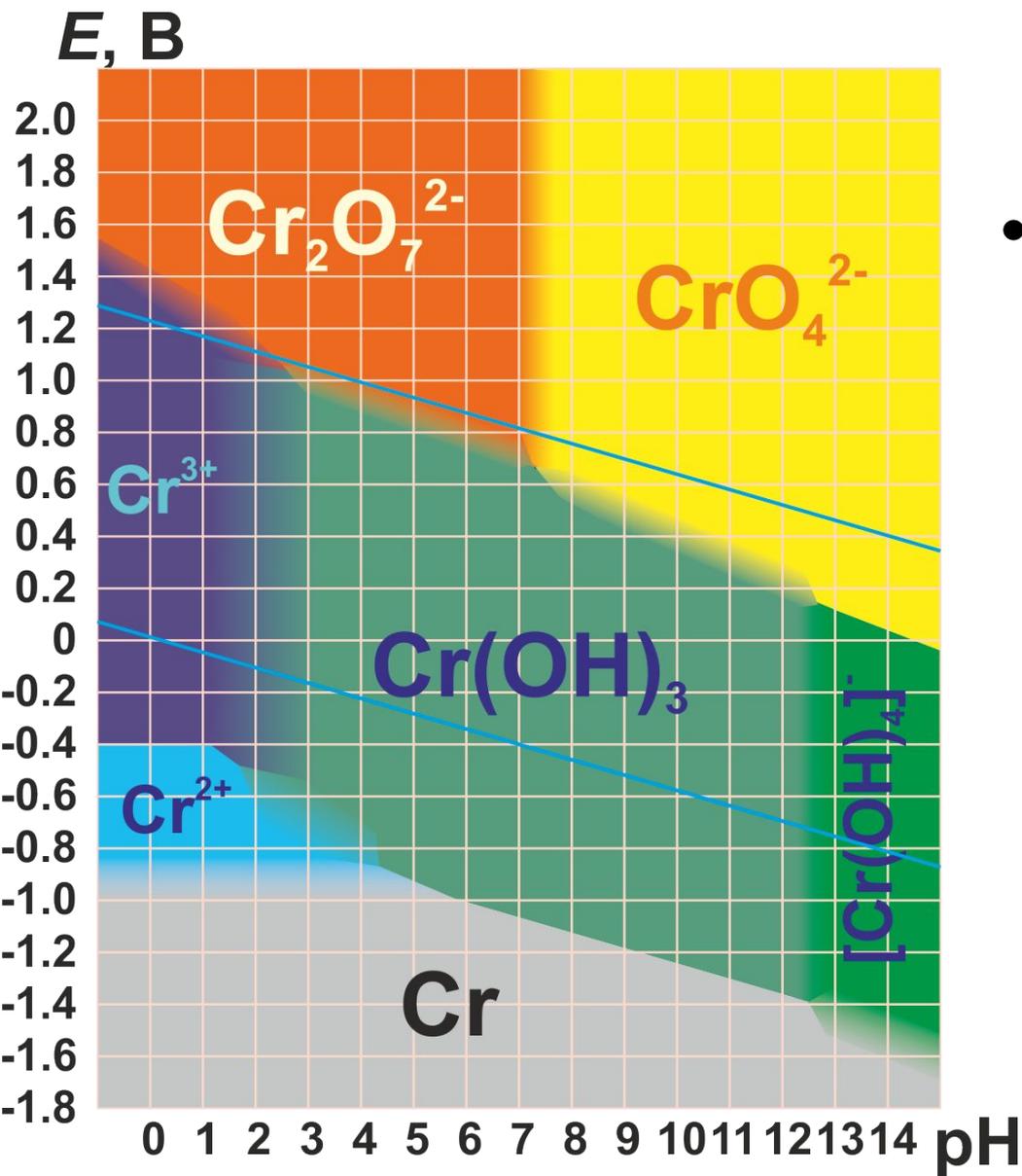
## Доступность элементов растениям при различных рН почвы



# Типы вод по окислительно-восстановительным условиям

- Кислородные воды – много кислорода, переходные металлы в высоких степенях окисления; породы красного, бурого желтого цветов.
- Сероводородные воды (присутствие  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$ ), многие металлы не мигрируют, тк образуют сульфиды; цвет пород – черный.
- Глеевые воды (избыток  $\text{H}_2$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{CH}_4$  и растворенные органические вещества) – мигрируют многие металлы в низких условиях; цвет пород синий, зеленый, серый.





- Отношение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) (Eh) и кислотности (pH) определяет форму, растворимость и миграционную способность элементов.

# Виды геохимических барьеров

**Кислородные** – смена  
восстановительных условий  
окислительными.

Пример: грунтовые воды на окраинах болот, обогащенные гидрокарбонатами и органическими соединениями железа и марганца окисляются и образуются оксиды Fe и Mn в виде пленок и конкреций, самородная сера.



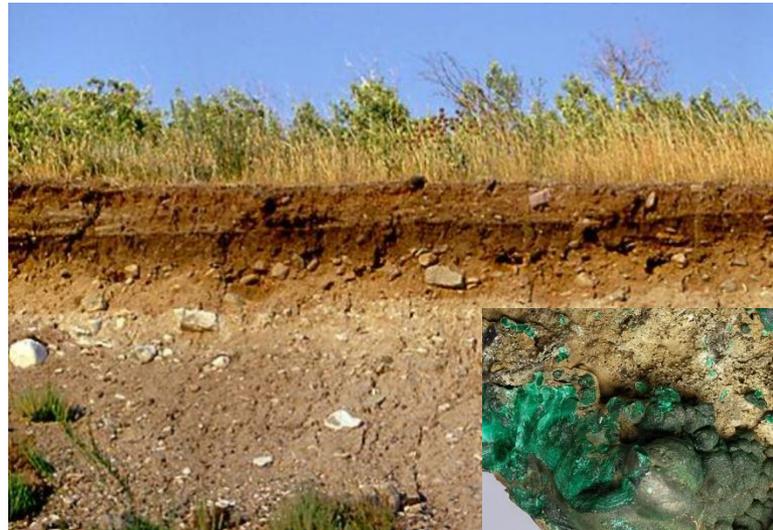
- **Сероводородные восстановительные (сульфидные) – кислые или глеевые воды встречаются с сероводородной средой ( $pH > 7$ ,  $Eh < 0$ ).**
- Концентрируются сульфиды Fe, Pb, Cu, Zn



- **Глеевые восстановительные** – возникают при встрече вод с восстановительной (бескислородной) средой ( $Eh < 200-300$  мВ).
- Накопление труднорастворимых соединений V, Se, Cu, Sn



- **Щелочные** – возникают при резком увеличении  $pH > 7,5$ .
- Например, на контакте силикатных и карбонатных пород.
- Накапливаются карбонаты и сульфаты Ca, Mg, Mn, Ba, Sr, V, Zn, Cu, Co, Pb  $^{2+}$



- **Кислые** – при резком снижении pH ниже 6,5.
- Накапливаются As, Mo, Se, S.
- Относительное накопление Si

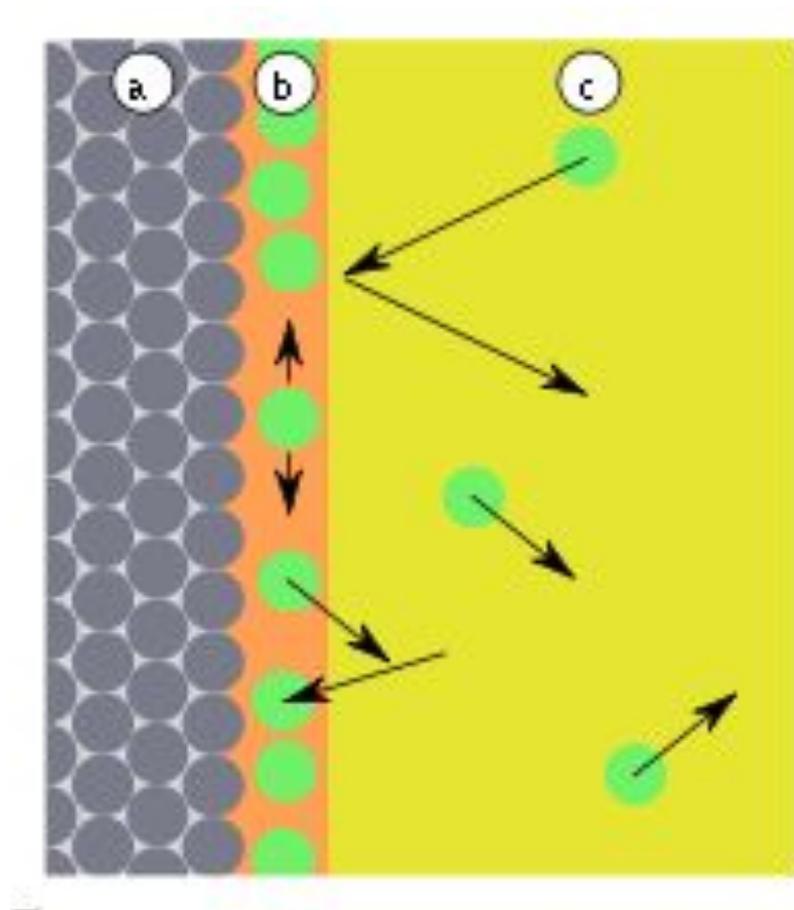


- **Испарительные** – в аридных условиях.
  - Верхние испарительные – на поверхности почв;
  - Нижние испарительные – на уровне грунтовых вод.

Накапливаются хлориды, фториды и сульфиды,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Mo}$ .



- **Сорбционный** – поглощение почвой механических частиц и молекул.



## Биогеохимический

- Изменение интенсивности биотической миграции



## Техногенный

- В результате накопления и растворения веществ под воздействием человека



# Градиент барьера (G)

- Характеризует изменение геохимического показателя в направлении миграции химического элемента

$$G = (m1-m2)/l$$

- $m1$  – значение показателя до барьера;
- $m2$  – значение показателя после барьера;
- $l$  – мощность (ширина) барьера.

# Контрастность барьера (S)

- Характеризует отношение величины геохимических показателей в направлении миграции до и после барьера.

$$G = (m1/m2)$$









## Пики поглощения света растениями

