

Геохимическая классификация элементов

Универсальной химической классификацией элементов является периодический закон Д.И. Менделеева

		ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА						VII	VIII				
1	1	I	II	III	IV	V	VI	(H)	2				
1	1	H ¹ ВОДОРОД 1,01							He ² ГЕЛИЙ 4,00				
2	2	Li ³ ЛИТИЙ 6,94	Be ⁴ БЕРИЛЛИЙ 9,01	B ⁵ БОР 10,81	C ⁶ УГЛЕРОД 12,01	N ⁷ АЗОТ 14,01	O ⁸ КИСЛОРОД 16,00	F ⁹ ФТОР 19,00	Ne ¹⁰ НЕОН 20,18				
3	3	Na ¹¹ НАТРИЙ 22,99	Mg ¹² МАГНИЙ 24,31	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ 26,98	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ 28,09	P ¹⁵ ФОСФОР 30,97	S ¹⁶ СЕРА 32,06	Cl ¹⁷ ХЛОР 35,45	Ar ¹⁸ АРГОН 39,95				
4	4	K ¹⁹ КАЛИЙ 39,10	Ca ²⁰ КАЛЬЦИЙ 40,08	Sc ²¹ СКАНДИЙ 44,96	Ti ²² ТИТАН 47,90	V ²³ ВАНАДИЙ 50,94	Cr ²⁴ ХРОМ 52,00	Mn ²⁵ МАРГАНЕЦ 54,94	Fe ²⁶ ЖЕЛЕЗО 55,85	Co ²⁷ КОБАЛЬТ 58,93	Ni ²⁸ НИКЕЛЬ 58,70		
4	5	Cu ²⁹ МЕДЬ 63,55	Zn ³⁰ ЦИНК 65,38	Ga ³¹ ГАЛЛИЙ 69,72	Ge ³² ГЕРМАНИЙ 72,59	As ³³ МЫШЬЯК 74,92	Se ³⁴ СЕЛЕН 78,96	Br ³⁵ БРОМ 79,90	Kr ³⁶ КРИПТОН 83,80				
5	6	Rb ³⁷ РУБИДИЙ 85,47	Sr ³⁸ СТРОНЦИЙ 87,62	Y ³⁹ ИТТРИЙ 88,91	Zr ⁴⁰ ЦИРКОНИЙ 91,22	Nb ⁴¹ НИОБИЙ 92,91	Mo ⁴² МОЛИБДЕН 95,94	Tc ⁴³ ТЕХНЕЦИЙ 98,91	Ru ⁴⁴ РУТЕНИЙ 101,07	Rh ⁴⁵ РОДИЙ 102,91	Pd ⁴⁶ ПАЛЛАДИЙ 106,42		
5	7	Ag ⁴⁷ СЕРЕБРО 107,87	Cd ⁴⁸ КАДМИЙ 112,41	In ⁴⁹ ИНДИЙ 114,82	Sn ⁵⁰ ОЛОВО 118,69	Sb ⁵¹ СУРЬМА 121,75	Te ⁵² ТЕЛЛУР 127,60	I ⁵³ ИОД 126,90	Xe ⁵⁴ КСЕНОН 131,30				
6	8	Cs ⁵⁵ ЦЕЗИЙ 132,91	Ba ⁵⁶ БАРИЙ 137,33	La ^{*57} ЛАНТАН 138,91	Hf ⁷² ГАФНИЙ 178,49	Ta ⁷³ ТАНТАЛ 180,95	W ⁷⁴ ВОЛЬФРАМ 183,85	Re ⁷⁵ РЕНИЙ 186,21	Os ⁷⁶ ОСМИЙ 190,20	Ir ⁷⁷ ИРИДИЙ 192,22	Pt ⁷⁸ ПЛАТИНА 195,09		
6	9	Au ⁷⁹ ЗОЛОТО 196,97	Hg ⁸⁰ РТУТЬ 200,59	Tl ⁸¹ ТАЛЛИЙ 204,37	Pb ⁸² СВИНЕЦ 207,20	Bi ⁸³ ВИСМУТ 208,98	Po ⁸⁴ ПОЛОНИЙ [209]	At ⁸⁵ АСТАТ [210]	Rn ⁸⁶ РАДОН [222]				
7	10	Fr ⁸⁷ ФРАНЦИИ [223]	Ra ⁸⁸ РАДИЙ 226,03	Ac ^{**89} АКТИНИЙ [227]	Ku ¹⁰⁴ КУРЧАТОВИЙ [261]	Ns ¹⁰⁵ НИЛЬСБОРИЙ [261]	Sg ¹⁰⁶ СИБОРГИЙ [263]	Bh ¹⁰⁷ БОРИЙ [262]	Hs ¹⁰⁸ ХАССИЙ [265]	Hs ¹⁰⁹ МЕЙТНЕРИЙ [266]			
* ЛАНТАНОИДЫ													
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce ЦЕРИЙ 140,12	Pr ПРАЗЕОДИМ 140,91	Nd НЕОДИМ 144,24	Pm ПРОМЕТИЙ [145]	Sm САМАРИЙ 150,40	Eu ЕВРОПИЙ 151,96	Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	Tb ТЕРБИЙ 158,93	Dy ДИСПРОЗИЙ 162,50	Ho ГОЛЬМИЙ 164,93	Er ЭРБИЙ 167,26	Tm ТУЛИЙ 168,93	Yb ИТТЕРБИЙ 173,04	Lu ЛЮТЕЦИЙ 174,97
** АКТИНОИДЫ													
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th ТОРИЙ 232,04	Pa ПРОТАКТИНИЙ 231,04	U УРАН 238,03	Np НЕПТУНИЙ 237,05	Pu ПЛУТОНИЙ [244]	Am АМЕРИЦИЙ [243]	Cm КЮРИЙ [247]	Bk БЕРКЛИЙ [247]	Cf КАЛИФОРНИЙ [251]	Es ЭЙНШТЕЙНИЙ [254]	Fm ФЕРМИЙ [257]	Md МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	(No) НОБЕЛИЙ [255]	(Lr) ЛОУРЕНСИЙ [256]

Геохимические классификации элементов

Различные варианты классификаций элементов предложили в свое время В. М. Гольдшмидт, А. Е. Ферсман, В. И. Вернадский, А. Н. Заварицкий, Г. Вашингтон. Геохимические классификации А. Е. Ферсмана и А. Н. Заварицкого, по существу, отражают распределение элементов в эндогенных образованиях — магматических породах и их дериватах. Классификации В.М. Гольдшмидта и В.И. Вернадского носят более широкий характер, отражая поведение элементов в различных оболочках Земли.

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.

Геохимическая классификация химических элементов по В.И.Вернадскому

Группа элементов	Элементы	Число элементов
I. Благородные газы	He, Ne, Ar, Kr, Xe	5
II. Благородные металлы	Au, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt	7
III. Циклические элементы	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	44
IV. Рассеянные элементы	Li, Sc, Ga, Br, Rb, Y, Nb, Cs, Ta, In, I	11
V. Радиоактивные элементы	Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U	7
VI. Редкоземельные, элементы	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	15

**Геохимическая классификация элементов.
По В.М. Гольдшмидту и В.И. Вернадскому (Л.Н. Овчинников)**

Группы элементов		Ассоциации элементов
По В.М. Гольдшмидту	По В.И. Вернадскому	
Литофильные	Циклические	Be, B, C, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Sr, Zr, Ba, Hf, W
	Рассеянные	Li, Br, Rb, Y, Nb, I, Cs, Ta
	Сильно радиоактивные	U, Th, Ra, Ac, Pa
	Редкоземельные	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu
Халькофильные	Циклические	S, Cu, Zn, Ge, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, Bi
	Благородные	Au, Pd
	Рассеянные	In
	Сильно радиоактивные	Po
Сидерофильные	Циклические	Fe, Co, Ni, Mo, P
	Благородные	Ru, Rh, Os, Ir, Pt
Гидрофильные		O, H, Br, I, S
Атмофильные	Циклические	H, N, O, C
	Инертные газы	He, Ne, Ar, Kr, Xe
	Сильно радиоактивные	Rn

Группы Периоды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	—	—	—	—	—	—	H	He	Li	Be	—	—	—	—	—	—	—		
2	—	—	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	—	—	—	—	—	—	—		
3	—	—	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ma	Ru Rh Rd			6
7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	TR	HF	Ta	W	Re	Os Ir Pt			8
9	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	?	Rn	?	Ra	Ac	Th	Pa	U	—	—			10



Рис. 10. Геохимическая классификация элементов
(по А. Е. Ферсману):

1 – элементы кислых магм и пневматолитов, 2 – сульфидных месторождений,
3 – средних магм, 4 – основных и ультраосновных магм

Классификация Заварицкого

п/г	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	1 <u>H</u>															1 <u>H</u>	2 <u>He</u>	
2	3 <u>Li</u>	4 <u>Be</u>	5 <u>B</u>	6 <u>C</u>	7 <u>N</u>	8 <u>O</u>	9 <u>F</u>										10 <u>Ne</u>	
3	11 <u>Na</u>	12 <u>Mg</u>	13 <u>Al</u>	14 <u>Si</u>	15 <u>P</u>	16 <u>S</u>	17 <u>Cl</u>										18 <u>Ar</u>	
4	19 <u>K</u>	20 <u>Ca</u>	21 <u>Sc</u>	22 <u>Ti</u>	23 <u>V</u>	24 <u>Cr</u>	25 <u>Mn</u>	26 <u>Fe</u>	27 <u>Co</u>	28 <u>Ni</u>	29 <u>Cu</u>	30 <u>Zn</u>	31 <u>Ga</u>	32 <u>Ge</u>	33 <u>As</u>	34 <u>Se</u>	35 <u>Br</u>	36 <u>Kr</u>
5	37 <u>Rb</u>	38 <u>Sr</u>	39 <u>Y</u>	40 <u>Zr</u>	41 <u>Nb</u>	42 <u>Mo</u>	43 <u>Tc</u>	44 <u>Ru</u>	45 <u>Rh</u>	46 <u>Pd</u>	47 <u>Ag</u>	48 <u>Cd</u>	49 <u>In</u>	50 <u>Sn</u>	51 <u>Sb</u>	52 <u>Te</u>	53 <u>I</u>	54 <u>Xe</u>
6	55 <u>Cs</u>	56 <u>Ba</u>	* <u>Lan</u>	72 <u>Hf</u>	73 <u>Ta</u>	74 <u>W</u>	75 <u>Re</u>	76 <u>Os</u>	77 <u>Ir</u>	78 <u>Pt</u>	79 <u>Au</u>	80 <u>Hg</u>	81 <u>Tl</u>	82 <u>Pb</u>	83 <u>Bi</u>	84 <u>Po</u>	85 <u>At</u>	86 <u>Rn</u>
7	87 <u>Fr</u>	88 <u>Ra</u>	89 <u>Ac</u>	90 <u>Th</u>	91 <u>Pa</u>	92 <u>U</u>												
*	Lanthanides		57 <u>La</u>	58 <u>Ce</u>	59 <u>Pr</u>	60 <u>Nd</u>	61 <u>Pm</u>	62 <u>Sm</u>	63 <u>Eu</u>	64 <u>Gd</u>	65 <u>Tb</u>	66 <u>Dy</u>	67 <u>Ho</u>	68 <u>Er</u>	69 <u>Tm</u>	70 <u>Yb</u>	71 <u>Lu</u>	

Элементы:

-  горных пород
-  магматических эманаций
-  группы железа
-  Инертные газы
-  Редкие
-  Радиоактивные
-  Металлические рудные
-  Металлоидные, металлогенные
-  Тяжелые галоиды
-  Группа платины

Классификация геохимических мигрантов

- Мигранты
 - Воздушные
 - Активные
 - Пассивные
 - Анионогенные
 - Катионогенные

ВОЗДУШНЫЕ МИГРАНТЫ	
Активные (образуют химические соединения)	Пассивные (не образуют химические соединения)
O, H, C, N, I	Ar, He, Ne, Kr, Xe, Rn
ВОДНЫЕ МИГРАНТЫ	
Катионогенные	Анионогенные
<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	
Мало подвижные в большинстве обстановок	
<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)

По Складову Е.В. (2001 г)

1. Главные элементы – Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P; летучие компоненты – H₂O, CO₂, H₂S, SO₂.
2. Радиогенные изотопы – K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb-Th.
3. Стабильные основные изотопы – H, O, C, S – индикаторы процессов;
4. Элементы- примеси (содержание меньше 0,1%):
 - крупноионные литофилы, наиболее подвижные в геологических системах (Cs, Rb, K, Ba, Sr);
 - транзитные, слабо подвижные элементы (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn);
 - благородные металлы (Ru, Rh (родий), Pd (палладий) , Os, Ir, Pt, Au, Cu, Ni);
 - высокозарядные и наименее подвижные элементы (Sc, Y (иттрий), Th (торий), U, Pb, Zr, Hf, Nb, Ta, редкоземельные элементы);редкоземельные элементы наиболее стабильны с четными номерами, их кларк более высокий, и они делятся на три группы:

Стабильные изотопы в геохимии

- (1) Имеют низкие атомные массы.
- (2) Значительные отличия массы изотопов (H – D, 100%).
- (3) C, N и S могут присутствовать в различной степени окисления.
- (4) Высокая распространенность легких изотопов, что облегчает масс-спектрометрические исследования

Расчет изотопного состава кислорода (‰)

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

$\delta^{18}\text{O} > 0$ - относительное обогащение изотопом ^{18}O

$\delta^{18}\text{O} < 0$ - относительное обеднение изотопом ^{18}O

Главные стабильные изотопы и их стандарты

Элемент	Символ	Отношение	Стандарт	Значение
H	δD	D/H	SMOW	1.557×10^{-4}
C	$\delta^{13}C$	$^{13}C/^{12}C$	PDB	1.122×10^{-2}
N	$\delta^{15}N$	$^{15}N/^{14}N$	ATM	3.613×10^{-3}
O	$\delta^{18}O$	$^{18}O/^{16}O$	SMOW	2.005×10^{-3}
	$\delta^{17}O$	$^{17}O/^{16}O$	SMOW	3.76×10^{-4}
S	$\delta^{34}S$	$^{34}S/^{32}S$	CDT	4.43×10^{-2}

SMOW - Standard Mean Oceanic Water

PDB - Cretaceous Peedee formation Belemnite

ATM - Atmosphere

CDT - Canyon Diablo Troilite

Важнейшие радиогенные изотопы

Материнский изотоп	Тип распада	Период полураспада, (млрд. лет)	Дочерний изотоп	Характеристическое отношение
^{40}K	β	1.28	$^{40}\text{Ar}, ^{40}\text{Ca}$	$^{40}\text{Ar} / ^{36}\text{Ar}$
^{87}Rb	β	48.8	^{87}Sr	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$
^{138}La	β	259	^{138}Ce	$^{138}\text{Ce} / ^{132}\text{Ce}$
^{147}Sm	α	106	^{143}Nd	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$
^{176}Lu	β	36	^{176}Hf	$^{176}\text{Hf} / ^{177}\text{Hf}$
^{187}Re	β	42.3	^{187}Os	$^{187}\text{Os} / ^{188}\text{Os}$
^{232}Th	α	14	$^{208}\text{Pb}, ^4\text{He}$	$^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$
^{235}U	α	0.707	$^{207}\text{Pb}, ^4\text{He}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$
^{238}U	α	4.47	$^{206}\text{Pb}, ^4\text{He}$	$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$