

Геохимия литосферы



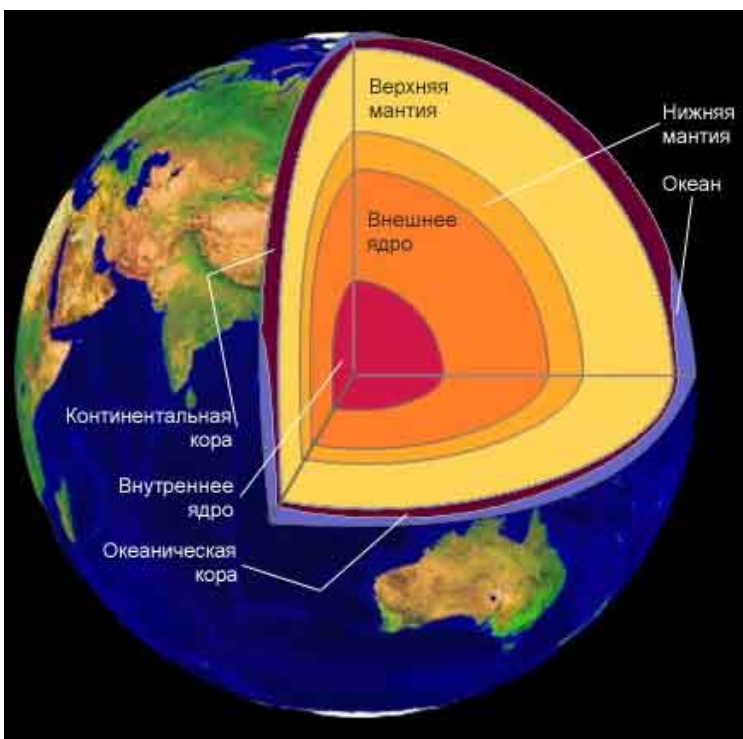
Литосфера (гр. *lithos* - камень) – это верхняя твердая (каменная) оболочка Земли.

Включает земную кору и жесткую часть верхней мантии.

Нижняя граница проводится под астеносферой на глубинах около 100 км под континентами и 50 км под дном океана.

Мощность минимальна в зонах активизации

Земля



Общий состав Земли. Земля состоит в основном из 15 элементов:

- 1. Fe, O, Si и Mg** составляют 92% ее массы
- 2. Ni, Ca, S, Al** содержатся в количестве более 1% каждый;
- 3. Na, Cr, Mn, Co, P, K, Ti** содержатся от 0,05 до 0,6% каждый

Геосфера	Расстояние от нижней границы до поверхности Земли, км	Объем 10^{18} м^3	Масса 10^{21} кг	Доля массы геосферы от массы Земли
Атмосфера	2000	1320	~ 0,005	~ 10^{-6}
Гидросфера	До 11	1,4	1,4	0,02
Земная кора	5-70	10,2	28	0,48
Мантия	До 2900	896,6	4013	67,2
Ядро	6371	175,2	1934	32,3
Вся Земля (без атмосферы)		1083,4	5976	100

Средний химический состав земной коры

Принимается как:

2 части кислых + 1 часть основных (А.П.Виноградов, 1962)

2 части гранита + 3 части базальта (Ронов, Ярошевский, 1971)

Гранодиорит (Тейлор, 1988)

Основные типы горных пород:

- Изверженные
- Осадочные
- Метаморфические

Средний состав их очень близок

Распространенность горных пород в континентальной земной коре

Типы пород	Распространенность, %
Осадочный слой, всего	23,63
в том числе:	
пески и песчаники	5,11
глины и глинистые сланцы	10,40
карбонатные породы	3,85
кремнистые породы	0,33
эвапориты	0,26
кислые вулканиты	0,44
средние вулканиты	1,13
основные вулканиты	2,11
Гранито-гнейсовый слой, всего	76,37
в том числе:	
граниты	8,21
гранодиориты	3,38
базиты	1,5
сиениты	0,05
ультрабазиты	0,05
метапесчаники	2,92
парагнейсы и парасланцы	30,56
карбонатные породы	1,13
железистые породы	0,38
гранито-гнейсы	23,21
металипариты	0,66
матаандезиты	1,03
метабазиты	3,29
Итого:	100

Согласно представлениям Т.Барта (петролог, Норвегия)

- В земной коре очень мало «ювенильного» материала
- Породы многократно изменялись плутонизмом, метаморфизмом, метасоматизмом
- Все породы образовались из осадков

Основные сведения о геохимии

1. Земная кора сложена в основном 8 элементами: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K.
2. На долю остальных элементов приходится менее 1% массы земной коры
3. Главная особая роль принадлежит кислороду (оксисфера – В.М. Гольшмидт).
На долю кислорода приходится:
 - 47% массы земной коры
 - 90% объема главных минералов
4. Соотношение химических элементов в земной коре непрерывно изменяется за счет процессов перераспределения вещества

Отмечается резкая дифференциация химических элементов в магматических породах от кислых к основным разностям. Она подчиняется периодическому закону Д.И. Менделеева.

В.И. Рехарский предложил коэффициент основности (1964 г):

$$K_o = \frac{C_o}{C_k}$$

C_o – содержание в основных породах

C_k – содержание в кислых породах

Геохимические классификации элементов построены на основе периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева

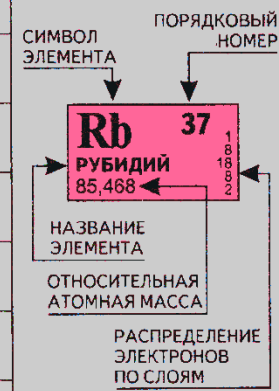
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

www.calc.ru



Д.И. Менделеев
1834–1907

Периоды	Ряды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																Энергетические уровни
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	
1	1	H ВОДОРОД 1,008															He ГЕЛИЙ 4,003	2
2	2	Li ЛИТИЙ 6,941	Be БЕРИЛЛИЙ 9,0122	B БОР 10,811	C УГЛЕРОД 12,011	N АЗОТ 14,007	O КИСЛОРОД 15,999	F ФТОР 18,998									Ne НЕОН 20,179	10
3	3	Na НАТРИЙ 22,99	Mg МАГНИЙ 24,312	Al АЛЮМИНИЙ 26,982	Si КРЕМНИЙ 28,086	P ФОСФОР 30,974	S СЕРА 32,064	Cl ХЛОР 35,453									Ar АРГОН 39,948	18
4	4	K КАЛИЙ 39,102	Ca КАЛЬЦИЙ 40,08	Sc СКАНДИЙ 44,956	Ti ТИТАН 47,887	V ВАНАДИЙ 50,941	Cr ХРОМ 51,996	Mn МАРГАНЕЦ 54,938	Fe ЖЕЛЕЗО 55,847	Co КОБАЛЬТ 58,933	Ni НИКЕЛЬ 58,71							
	5	Cu МЕДЬ 63,546	Zn ЦИНК 65,37	Ga ГАЛЛИЙ 69,72	Ge германий 72,59	As мышьяк 74,922	Se СЕЛЕН 78,96	Br БРОМ 79,904										Kr КРИПТОН 83,8
5	6	Rb РУБИДИЙ 85,468	Sr СТРОНЦИЙ 87,62	Y ИТРИЙ 88,906	Zr ЦИРКОНИЙ 91,22	Nb НИОБИЙ 92,906	Mo МОЛИБДЕН 95,94	Tc ТЕХНЕЦИЙ [99]	Ru РУТЕНИЙ 101,07	Rh РОДИЙ 102,906	Pd ПАЛЛАДИЙ 106,4							
	7	Ag СЕРЕБРО 107,868	Cd КАДМИЙ 112,41	In ИНДИЙ 114,82	Sn ОЛОВО 118,69	Sb СУРЬМА 121,75	Te ТЕЛЛУР 127,6	I ИОД 126,905										Xe КСЕНОН 131,3
6	8	Cs ЦЕЗИЙ 132,905	Ba БАРИЙ 137,34	57–71 ЛАНТАНОИДЫ	Hf ГАФНИЙ 178,49	Ta ТАНТАЛ 180,948	W ВОЛЬФРАМ 183,85	Re РЕНИЙ 186,207	Os ОСМИЙ 190,2	Ir ИРИДИЙ 192,22	Pt ПЛАТИНА 195,09							
	9	Au ЗОЛОТО 196,967	Hg РУТУТЬ 200,59	Tl ТАЛЛИЙ 204,37	Pb СВИНЕЦ 207,19	Bi ВИСМУТ 208,98	Po ПОЛОНИЙ [210]	At АСТАТ [210]										Rn РАДОН [222]
7	10	Fr ФРАНЦИЙ [223]	Ra РАДИЙ [226]	89–103 АКТИНОИДЫ	Rf РЕЗЕРФОРДИЙ [261]	Db ДУБИЙ [262]	Sg СИБОРГИЙ [263]	Bh БОРИЙ [262]	Hn ХАНИЙ [265]	Mt МЕЙТТЕРИЙ [268]	110							
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R_2O	RO	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3	R_2O_7				RO_4						
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ					RH_4	RH_3	H_2R	HR										



- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

Л А Н Т А Н О И Д Ы

57 La ЛАНТАН 138,906	58 Ce ЦЕРИЙ 140,12	59 Pr ПРАЗЕОДИМ 140,908	60 Nd НЕОДИМ 144,24	61 Pm ПРОМЕТИЙ [145]	62 Sm САМАРИЙ 150,4	63 Eu ЕВРОПИЙ 151,96	64 Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	65 Tb ТЕРБИЙ 158,926	66 Dy ДИСПРОЗИЙ 162,5	67 Ho ГОЛЬМИЙ 164,93	68 Er ЭРБИЙ 167,26	69 Tm ТУЛИЙ 168,934	70 Yb ИТТЕРБИЙ 173,04	71 Lu ЛУТЕЦИЙ 174,97
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

А К Т И Н О И Д Ы

89 Ac АКТИНИЙ [227]	90 Th ТОРИЙ 232,036	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ [231]	92 U УРАН 238,29	93 Np НЕПУНИЙ [237]	94 Pu ПУЛТОНИЙ [244]	95 Am АМЕРИЦИЙ [243]	96 Cm КЮРИЙ [247]	97 Bk БЕРКЛИЙ [247]	98 Cf КАЛИФОРНИЙ [251]	99 Es ЭЙНШТЕЙНИЙ [254]	100 Fm ФЕРМИЙ [257]	101 Md МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	102 No НОБЕЛИЙ [259]	103 Lr ЛОУРЕНСИЙ [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Ко (кроме I и II периодов) уменьшаются сверху вниз

Ко в периодах увеличивается слева направо от I к VII группе, а затем уменьшается слева вниз направо и увеличивается слева вверх направо

- в породах основного состава накапливаются: Cr, Sc, Ni, V, Co, Pb
- в кислых породах накапливаются Li, Be, Rb, TR, Ba, Tl, Th, U, Ta
- Распределены примерно одинаково: Ga, Ge, Se, Te, Re, Sr, Nb, Cd, Zn, Hf
- Элементы дифференцируются в процессе развития З.К.

А.Д.Ножкин – степень зрелости З.К. (K, Si, Th/U)

**Среднее содержание уран и тория в основных типах
магматических горных пород (по Н.А. Григорьеву, 2002)**

Горные породы	Содержание элементов, г/т		Th/U
	U	Th	
<i>Интрузивные:</i>	3,2	14,0	4,4
ультрабазиты	0,001	0,004	4,0
Базиты	0,8	3,2	4,0
Гранодиориты	2,7	9,9	3,7
Сиениты	3,0	13,0	4,3
Граниты	3,9	18,0	4,6
<i>Эффузивные:</i>	1,4	4,4	3,1
Основные вулканы	0,86	2,7	3,1
Средние вулканы	1,1	4,1	3,7
Кислые вулканы	4,5	13,0	2,9

Среднее содержание химических элементов в горных породах верхней части континентальной коры, г/т

Горные породы	Se	Cu	Au,м г/т	Zn	Cd	Hg	Sc	Y	La	Ce	Th	U	Zr	Hf	V	Nb	Cr
Пески и песчаники	0,1	31	8,3	57	0,74	0,049	5,4	29	20	39	7,8	2,3	230	4.5	75	6.4	55
Глины, глинистые сланцы	0,36	36	6,5	52	1,0	0,089	15	31	48	75	10	4,5	190	5,0	120	11	76
Карбонатные породы	0,27	21	2,6	5	0,47	0,038	1,7	30	7	12	2,4	2,1	51	0.61	49	0.8	20
Кремнистые породы	-	7	2,0	3	0,12	0,068	4,8	-	16	15	3,4	5,0	19	1.5	-	-	-
Эвапориты	0,004	-	-	-	-	0,033	-	-	-	-	0,7	0,68	33	-	-	-	-
Осадочные породы																	
Кислые вулканиды	0,093	15	4,5	35	0,3	0,058	4,2	24	31	58	13	4,5	110	4.1	60	26	8.5
Средние вулканиды	0,063	44	2,3	31	0,15	0,049	15	19	28	50	4,1	1,1	110	3,6	71	19	30
Основные вулканиды	0,11	73	3,0	85	0,14	0,061	31	25	19	43	2,7	0,86	110	3.7	220	10	130
Вулканиды в целом																	
<i>Осадочный слой</i>																	
Граниты	0,07	10	2,7	39	0,17	0,066	6,5	50	48	72	18	3,9	180	3,9	38	21	5.6
Гранодиориты	0,08	29	2,8	59	0,11	0,06	13	36	51	75	9,9	2,7	140	2.5	91	20	22
Базиты	0,07	92	3,5	110	0,19	0,052	30	23	17	48	3,2	0,8	130	2.6	240	19	180
Сиениты	0,05	3	2,0	130	0,13	0,07	3	17	45	95	13	3,0	500	11	30	35	2.0
Ультрабазиты	0,05	10	6,0	46	0,05	-	12	2	3.9	8.6	0,004	0,001	43	0,46	42	13	2000
Магматические породы																	
Метапесчаники	0,1	44	9,5	61	-	0,1	5,4	15	22	37	7,7	1,7	170	4,7	80	7,1	130
Парагнейсы, сланцы	0,2	52	6,4	120	-	0,1	16	24	32	76	9,2	2,3	150	5,5	180	15	330
Карбонатные породы	-	21	1,0	59	-	0,031	1,8	4	26	51	1,7	0,7	32	-	31	1,4	38
Железистые породы	-	57	12,0	130	-	0,045	-	20	-	-	-	-	30	-	35	14	36
Параметаморфиты																	
Гранито-гнейсы	0,07	29	8,0	63	0,14	0,058	21	17	33	65	10	2,4	190	5,1	86	9,8	61
Метариолиты	0,91	28	2,2	120	-	-	9	53	20	43	9,5	-	170	7,6	42	14	33
Метаандезиты	-	39	2,9	100	-	-	9	24	34	69	16	-	160	-	110	8,1	47
Матабазиты	0,13	86	5,6	120	-	0,049	33	24	12	26	3,9	0,9	110	2,3	240	6,8	350
Ортометаморфиты																	
Кларк по Тейлору	0,05	25	1,8	71	0,098	-	11	22	30	64	10,7	2,8	190	5,8	60	25	35

Эволюция земной коры

Кора (70%) сформировалась $\approx 2,5$ млрд лет назад

Рост коры происходил непрерывно в течение большей части геологического времени.

Выделяются периоды ускоренного роста коры:

3,8-3,5 млрд. лет

3,2-2,5 (особенно 2,8-2,6) млрд. лет

2,0-1,6

1,2-0,7

0,5 млрд лет – н.в.

Периоды роста коры быстро следовали за внутрикоровым плавлением с дифференциацией химических элементов в верхней и нижней части земной коры (обеднение нижней части коры литофильными элементами с большим ионным радиусом и обогащение ими верхней части)