

Состав и геохимия земной коры

Земная кора – это твердая верхняя оболочка Земли, ограниченная поверхностью суши или дном Мирового океана и геофизической границей – разделом Мохоровичича, фиксируемым по возрастанию скорости сейсмических волн до более 7.6 – 8 км/с.

Таким образом, земная кора представляет собой верхнюю часть литосферы и подстилается литосферной мантией.

Кора сложена магматическими, осадочными и образовавшимися за счет тех и других метаморфическими породами. Соотношение исходных магматических и осадочных пород, по Кларку, 95:5%. Осадочные породы, в свою очередь, состоят из (%): сланцев - 4, песчаников - 0,75, известняков - 0,25.

Геологические и геофизические данные послужили основой для слоистой модели земной коры, согласно которой она делится на гранитно-метаморфический и гранулит-базитовый слои, которые часто называют верхней и нижней корой. В качестве границы между ними подразумевается поверхность Конрада, но, однако, эта граница не всегда отчетливо проявлена.

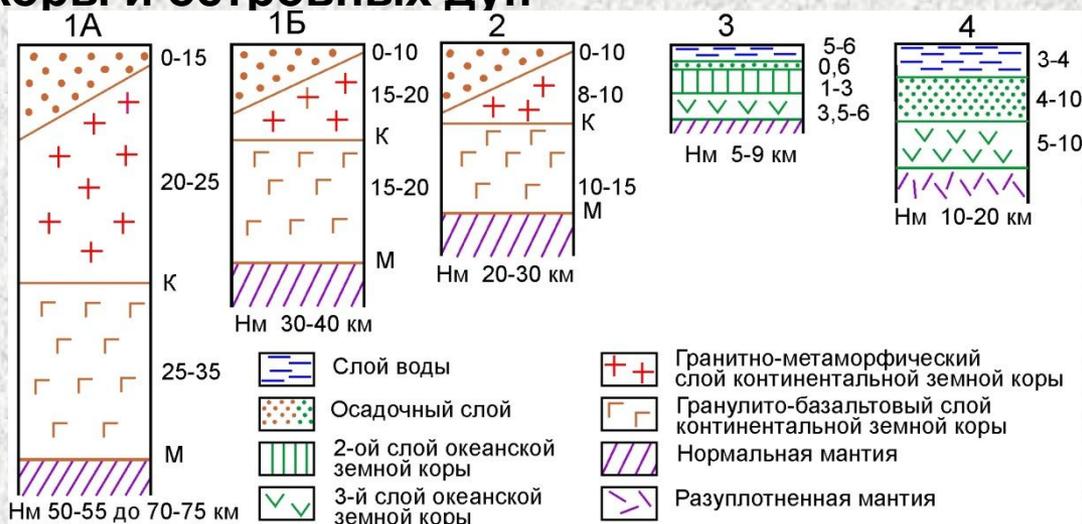
Гранитно-метаморфическая оболочка составляет 37.3% объема континентальной коры, при средней мощности 14 км.

Нижней корой или гранулит-базитовой оболочкой названа нижняя часть кристаллической коры континентального или субконтинентального типов, располагающаяся между границами Конрада и Мохо.

По строению выделяется кора двух типов – океаническая и континентальная, причем последняя делится на два подтипа:

- Крупные устойчивые платформы с дорифейским кристаллическим основанием и докембрийские кратоны, составляющие около 70% площади континентов. В их строении выделяются слабо деформированный чехол или осадочная оболочка и кристаллический фундамент, обнажающийся на приподнятых щитах.
- Протяженные орогенические или складчатые пояса позднего докембрия и фанерозоя, имеющие значительно более сложное строение. По современным представлениям, эти складчатые пояса имеют аккреционное происхождение и представляют собой агломерат фрагментов породных ассоциаций древних океанов, островных дуг, микроконтинентов и т.д.

Кроме двух указанных ещё один тип коры – тип переходных зон между континентом и океаном, в строении которой перемежаются блоки континентальной, океанической коры и островных дуг.



КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ КОРА

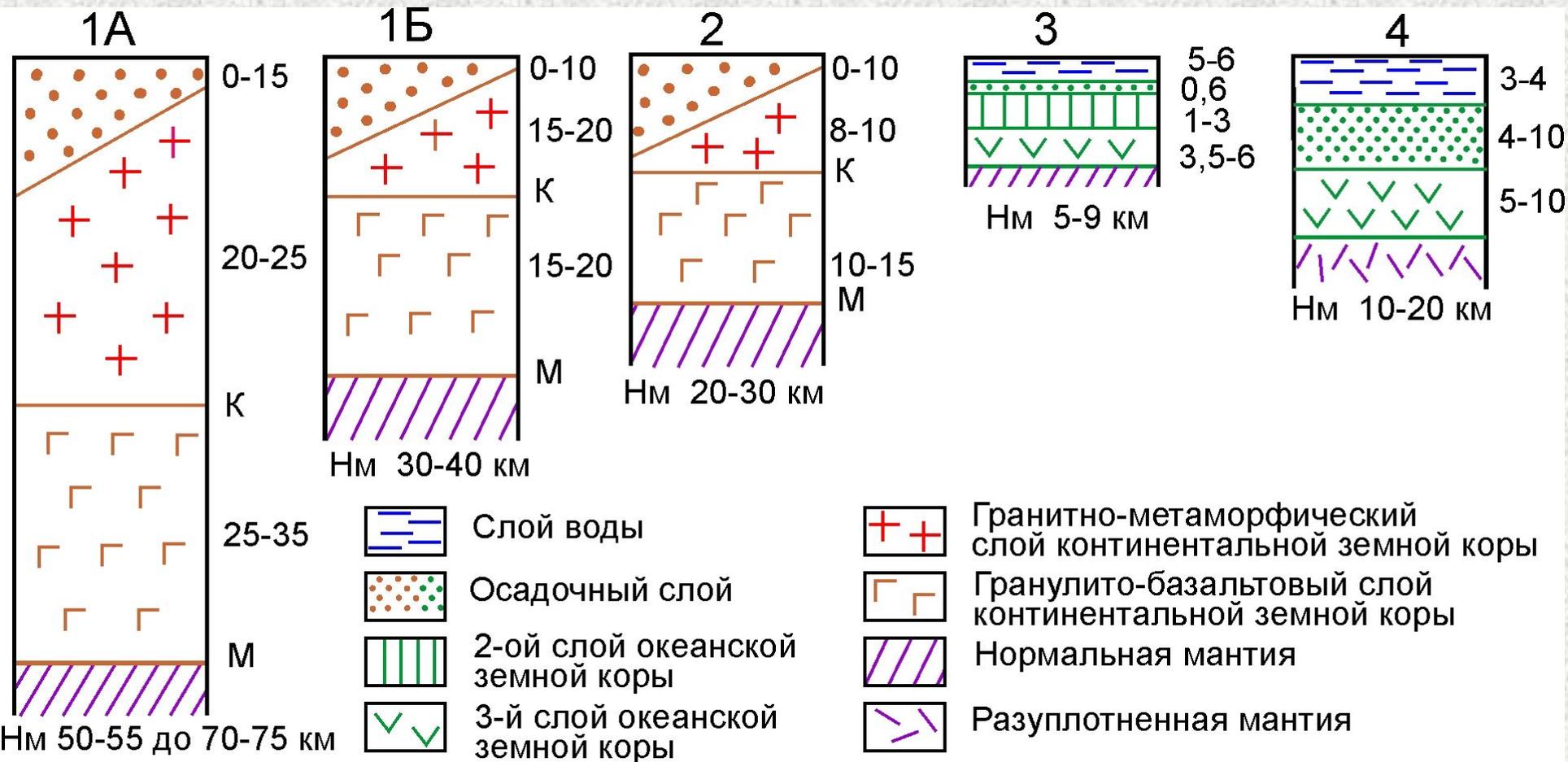
По содержанию петрогенных компонентов валовый состав континентальной коры соответствует лейкократовому андезито-базальту или андезиту. В сравнении с продуктами плавления мантии – базальтами, континентальная кора обогащена SiO_2 , обеднена MgO и CaO , имеет довольно высокое Rb/Sr отношение и сильно обогащена несовместимыми элементами. Величина Mg\# ($\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$) существенно ниже, чем у первичных мантийных выплавов – оливиновых базальтов островных дуг.

К числу особенностей редкоэлементного состава континентальной коры, проявленных на мультиэлементных диаграммах, нормированных по примитивной мантии, относится обогащение наиболее несовместимыми элементами, отрицательные аномалии $\text{Nb}(\text{Ta})$, Ti , положительные Pb . По этим характеристикам континентальная кора близка к субдукционным андезитам.

Формирование современного состава континентальной коры обусловлено:

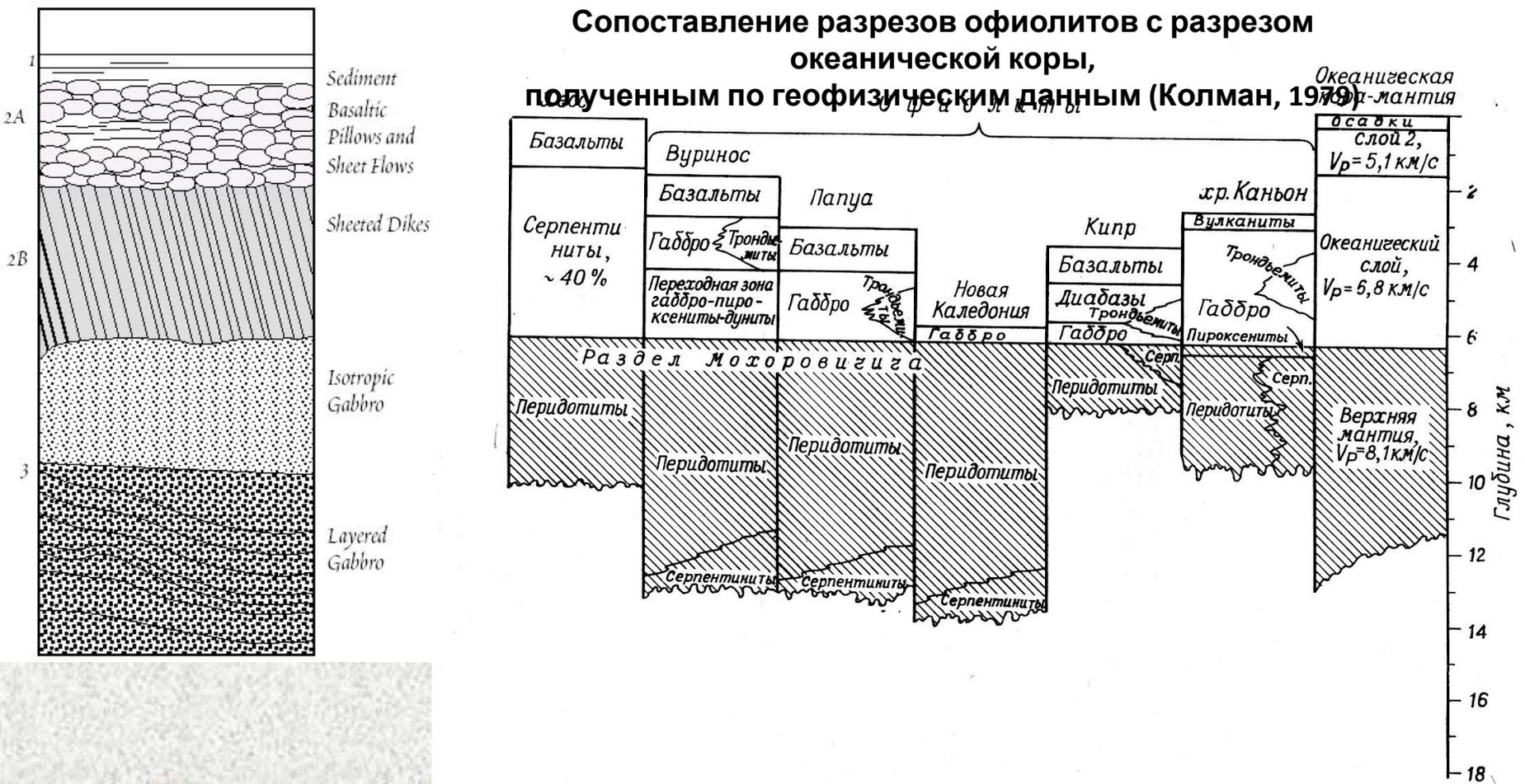
- 1. Образованием большого объема ТТГ-комплексов в архее по субдукционному сценарию или путем плавления метабазитов в основании утолщенной коры;**
- 2. субдукционными магматическими процессами;**
- 3. внутриплитным континентальным магматизмом;**
- 4. аккрецией океанических плато и фрагментов океанической коры к континентальным окраинам;**
- 5. поступлением расплавов, образовавшихся при крайне малых степенях плавления мантийных перидотитов;**
- 6. деламинацией и рециклингом в мантию эцлогитизированной нижней коры, обогащенной реститовым и кумулятивным материалом;**
- 7. «очисткой» коры от MgO путем его выноса при выветривании коровых пород и последующем рециклинге в мантию при субдукции.**

Компоне нт	Кора континентального блока				Океаническая кора				Земная кора целом
	Осадочная оболочка	Гранитно- метаморфи ч. оболочка	Гранулит- базитовая оболочка	Кора в целом	Осадочный слой	Вулканоген . слой	Базальтов ый слой	Кора в целом	
SiO ₂	51.82	63.81	48.69	54.55	39.72	50.16	50.20	49.89	53.54
Al ₂ O ₃	12.89	14.92	17.74	16.17	9.51	14.97	14.97	14.81	15.87
Fe ₂ O ₃	2.50	1.75		0.92	3.34	1.79	1.73	1.79	1.11
FeO	2.91	3.68	10.84	7.32	1.31	8.82	8.82	8.60	7.6
MgO	3.32	2.83	6.70	4.91	2.13	7.53	7.54	7.38	5.44
CaO	9.93	4.08	11.69	8.72	19.18	11.62	11.73	11.93	9.41
Na ₂ O	1.96	3.02	2.71	2.74	1.43	2.43	2.41	2.38	2.66
K ₂ O	2.23	2.84	0.07	1.32	1.51	0.22	0.19	0.23	1.09
TiO ₂	0.659	0.537	0.12	0.855	0.563	1.44	1.40	1.381	0.970
MnO	0.115	0.086	0.22	0.159	0.260	0.180	0.180	0.181	0.164
P ₂ O ₅	0.162	0.141	0.25	0.201	0.198	0.150	0.140	0.143	0.189
C _{орг}	0.48	0.05		0.07	0.11				0.06
CO ₂	7.21	0.90		1.14	14.29			0.42	0.99
SO ₃	0.219	0.105		0.063	0.355			0.010	0.052
S	0.221	0.066		0.049	0.038			0.001	0.039
F	0.046	0.053		0.025	0.052			0.002	0.020
Cl	0.539	0.022		0.068	0.136			0.004	0.055
H ₂ O	3.04	1.17		0.77	5.94	0.69	0.69	0.85	0.78
Сумма	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Масса	2.52	8.12	11.68	22.32	0.18	1.05	4.91	6.14	28.46



Сопоставление разрезов офиолитов с разрезом океанической коры,

полученным по геофизическим данным (Колман, 1979)



Океаническая кора подразделяется на три слоя. Верхний слой – осадочный, средний слой – сложен преимущественно подводными подушечным базальтами, нижний слой, предположительно сложенный габбро и породами кумулятивного комплекса. Считается, что офиолиты являются обдуцированными фрагментами океанической коры. Образование её происходит в зона спрединга при раздвигании океанических плит. Соответственно, поглощение океанической коры происходит в субдукционных обстановках.

Анализ распространения элементов по типам пород показывает следующее:

- а) элементы в основных и кислых породах распространены примерно одинаково - Ga, Ge, Se, Te, Re, Sr, Nb, Cd, In, Hf;
- б) в основных породах данного элемента больше, чем в кислых - Cr, Sc, Ni, V, Co, Pt;
- в) в кислых породах содержание элемента заметно выше, чем в основных - Li, Be, Rb, TR, Ba, Tl, Th, U, Ta.

В.И.Вернадский назвал **рассеянными** те элементы, которые, находясь в земной коре в значительных количествах, не дают высоких концентраций. Так, например, огромные массы Rb рассеяны в полевых шпатах, Ga - в алюминиевых минералах, Re - в молибденитах, Cd - в сфалеритах, Ag - в галенитах, Sc - в силикатах, Li - в слюдах и т.д.

В отличие от рассеянных **редкие** элементы в земной коре находятся в значительно меньшем количестве, хотя образуют свои собственные минералы, дающие рудные скопления.

Вернадский в связи с этим ввел понятие **кларка концентрации** элемента в минералах и месторождениях. Это отношение содержания элемента в породе или минерале к его кларку.

Распространенность редких и рассеянных элементов в земной коре определялась многими исследователями, и в первую очередь Ф.У. Кларком, В.М.Гольдшмидтом, В.И.Вернадским, А.Е.Ферсманом, С.Р. Тейлором, А.П.Виноградовым, Л.Г.Аренсом, К.Г.Ведеполом.

Используя новейшие методы анализа, из результатов многочисленных точных анализов минералов, пород и их смесей, а также из сопоставления распространенности отдельных пар элементов (удалось определить среднее содержание в земной коре почти всех элементов периодической системы.

Эти цифры по предложению Ферсмана получили название **кларков** в честь Ф.У.Кларка, впервые, в 1924 году, достаточно полно и точно оценившего химический состав земной коры по 700 пробам пород.

Распространенность элементов в земной коре (в г/т):

0,001-0,01	Re, Os, Ir, Ru, Rh, Te, Pt, He, Au, Pd
0,01-0,1	Ar, Se, Ag, Hg
0,1-1,0	Cd, Bi, In, Tu, I, Sb, Lu
1,0-10,0	Eu, Dy, Ho, Er, Yb, Hf, Ta, W, Tl, U, Ge, As, Br, Mo, Sn, Cs, Pr, Sm, Be
10,0-100,0	Pb, Th, Y, Nb, La, Ce, Nd, Li, B, N, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga
100,0-1000,0	C, F, P, S, Cl, Rb, Sr, Zr, Ba
1000,0-10000,0	Mn, Ti
>10 000,0	O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K

Анализируя распространенность химических элементов в земной коре, можно сделать следующие выводы.

1. Содержание химических элементов в земной коре очень неодинаково, причем содержание кислорода в $1,5 \cdot 10^{15}$ раз больше содержания полония - одного из наименее распространенных элементов.

2. Наиболее распространенными являются элементы с небольшими порядковыми номерами (и соответственно малыми атомными весами). С увеличением порядкового номера распространенность убывает. Первые 26 элементов составляют 99,74% всей земной коры.

3. Очень легкие элементы - литий, бериллий, бор и отчасти углерод обладают очень малой распространенностью (в %): Li 0,0065; Be 0,00035; B 0,0003; C 0,0320. Это объясняется тем, что перечисленные элементы в космическую стадию послужили ядерным горючим. Из тяжелых элементов (атомный вес ≥ 119) повышенную распространенность имеют Ba, La, Ce, Nd, Gd, Pb.

4. Элементы с четными порядковыми номерами более распространены (86% по весу), чем с нечетными (14% по весу) (закон Оддо и Харкинса). Четные элементы обычно более распространены, чем их нечетные соседи. Это особенно хорошо проявлено в группе редкоземельных элементов. Однако на кривой кларков имеются исключения (порядковые номера в скобках): As(33) более распространен, чем Ge(32) и Se(34), Br(35) - чем Se(34) и Kr(36) и Li(3) более распространен, чем He(2) и Be(4).

5. Некоторые аномально повышенные кларки элементов объясняются их предысторией. Так, например, относительно очень высокое содержание свинца объясняется тем, что он состоит не только из атомов "первозданного" свинца, но и из атомов свинца, образовавшихся в результате радиоактивного распада урана (свинец 206 и свинец 207) и тория (свинец 208).

Величины кларков представляют собой не только познавательный интерес, но имеют и большое практическое значение. Основная цель геохимии - выявление условий концентрации и рассеяния химических элементов. Соответственно, критерием повышенных или пониженных содержаний элементов служит кларк, но нужно оговориться, что когда речь идет о конкретных минеральных ассоциациях или горных породах, то приходится пользоваться не величиной кларка, характеризующей среднее содержание элемента в земной коре в целом, а средним содержанием для данных пород.

Величины кларков являются эталоном для выяснения особенностей той или иной геохимической провинции, ее металлогении.

Величины кларков позволяют вывести среднее соотношение между геохимически сходными или геохимически связанными элементами, например V/Fe или Sc/Fe, Ni/Co или Se/S и Te/Se (для сульфидов эти соотношения бывают много важнее, чем абсолютные содержания селена и теллура)

Кларки концентрации некоторых элементов (по А. Е. Ферсману, 1934):

Si - 1,8	Mn - 400	Al - 3,76	Zn - 400
K - 5,25	B - 400	Fe - 10,8	Cu - 550
Ca - 12,2	Ba - 560	Na - 15,3	Cr - 1450
V - 66	Sn - 2400	Ti - 74	Pb - 7000
P - 84	Ag - 10 000	Cl - 280	Au - 10 000
S - 282	Hg - 81 300	F - 390	Bi - 1 300 000