

Классификация Вернадского.

Подразделение химических элементов по характеру их поведения в процессах миграции.

1. *Благородные газы* – He, Ne, Ar, Kr, Xe. Соединения с другими атомами образуют исключительно редко, поэтому в природных химических процессах значительного участия не принимают.
2. *Благородные металлы* – Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au. Соединения редки. Преимущественно присутствуют в форме сплавов, и образуются в основном в глубинных процессах (магматических, гидротермальных).
3. *Циклические элементы* – H, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Ba, (Be, Cr, Ge, Zr, Sn, Sb, Te, Hf, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi). Наиболее многочисленная группа и преобладающая по массе. Для каждого элемента характерен определённый круг химических соединений, возникающих и распадающихся в ходе природных процессов. Таким образом, каждый элемент проходит цепочку превращений, в конечном счёте возвращаясь к исходной форме нахождения – и далее. Циклы не являются полностью обратимыми, так как часть элементов постоянно выходит из круговорота (и часть так же снова в него вовлекается).
4. *Рассеянные элементы* – Li, Sc, Ga, Br, Rb, Y, Nb, In, J, Cs, Ta. Безусловно, господствуют рассеянные атомы, не образующие химических соединений. Незначительная доля может участвовать в образовании самостоятельных минеральных соединений (большинство – в глубинных процессах, а J и Br – в гипергенных).
5. *Редкоземельные элементы* – La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Тяготеют к рассеянным. Основная черта – совместная миграция.
6. *Радиоактивные элементы* – Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U. Основная специфика в том, что в геохимическом процессе происходит постоянное превращение одних элементов в другие, что делает процессы их химической миграции наиболее сложными.

Элементы условности данной классификации:

- наличие химических элементов, занимающих промежуточное положение между группами, т.е. способных вести себя в миграционных процессах двояко; в этих случаях для отнесения такого элемента к одной из двух возможных групп «решающим аргументом будет история главной по весу части атомов или наиболее яркие черты их геохимической истории» (наличие доли субъективизма в таком критерии очевидно).
- выделение в особую группу радиоактивных элементов не учитывает разную устойчивости изотопов; у ряда элементов существенной является доля как стабильных, так и нестабильных изотопов, и, естественно, геохимическая история соответствующих долей общего числа атомов данного элемента будет различной (K, Rb, Sm, Re и др.). Сейчас, в связи с процессами радиогенного загрязнения, необходимо учитывать и миграцию искусственных радиоактивных изотопов.

Классификация Гольдшмидта.

Наиболее широко применяемая классификация. Элементы сгруппированы на основе их способности формировать естественные ассоциации в природных процессах. Это определяется рядом факторов:

1. Строение электронных оболочек, обуславливающее химические свойства элементов.
2. Положение элементов на кривой атомных объёмов.

3. Химическое «сродство» к тем или иным конкретным элементам, т.е. преимущественная склонность именно с этими определёнными элементами образовывать соединения (может измеряться значениями энергии образования определённых типов их соединений, например, оксидных).

Элементы подразделены на 5 групп:

Литофильные - Li, Be, B, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, I, Cs, Ba, TR, Hf, Ta, W, At, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U. Включены кислород и галогены, а также ассоциирующие с ними элементы, то есть преимущественно образующие кислородные и галоидные соединения. Последние – это те, которые расположены на пиках и нисходящих участках кривых атомных объёмов, а также имеют максимальные величины энергии образования оксидных соединений.

Халькофильные (или тиофильные, «любящие» серу) – S, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po). Те, которые ассоциируют преимущественно с медью и серой. Это – сера и её аналоги (селен, теллур), а также элементы, преимущественно склонные образовывать не оксидные, а сульфидные соединения. Для последних характерны 18-электронные внешние оболочки катионов, расположение на восходящих участках кривых атомных объёмов. Величины энергии образования кислородных соединений низкие. Некоторые способны существовать в самородном виде.

Сидерофильные - Fe, Co, Ni, Mo, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt. Ассоциируют с железом. Все принадлежат к элементам с достраивающимися d-оболочками. Занимают промежуточное положение между лито- и халькофильными: минимумы на кривой атомных объёмов, промежуточные значения энергии образования кислородных соединений. В равной мере распространены и в оксидных, и в сульфидных ассоциациях.

Атмофильные – все инертные газы, N, H. Все являются газами, свойственно по преимуществу атомарное или молекулярное (вне соединений) состояние (видимость того, что H представляет исключение, связана с тем, что атомарный водород теряется, рассеиваясь в космическом пространстве).

Неправомерным является дополнение этой классификации группой биофильных элементов.

Существует и широко применяется геохимическая классификация А.И.Перельмана, основанная на особенностях поведения химических элементов в зоне гипергенеза. С этой классификацией, очень важной для нас, мы подробно познакомимся позднее.

В основу геохимической классификации Ю.Г. Щербакова положено разделение элементов на центробежные и центростремительные.

Кроме упомянутых геохимических классификаций существуют и многие другие (Заварицкого, Вашингтона, Берга и др.), но они, как правило, носят либо слишком общий, либо слишком частный характер и в современной геохимии практически не используются.

Распространенность химических элементов в земной коре

Средние значения химических элементов в земной коре носят название кларков. Название было введено советским геохимиком А.Е. Ферсманом в честь американского геохимика Франка Уилгсуорта Кларка, который проанализировав результаты анализа тысяч образцов пород рассчитал средний состав земной коры. Вычисленный Кларком состав земной коры был близок к граниту — распространённой магматической горной породе в континентальной земной коре Земли.

После Кларка определением среднего состава земной коры занялся норвежский геохимик Виктор Гольдшмидт. Гольдшмидт сделал предположение, что ледник, двигаясь по континентальной коре соскребаёт и смешивает выходящие на поверхность горные породы. Поэтому ледниковые отложения или морены отражают средний состав земной коры. Проанализировав состав ленточных глин, отложившихся на дне Балтийского моря во время последнего оледенения, учёный получил состав земной коры, который очень походил на состав земной коры вычисленный Кларком.

В последствии состав земной коры изучался советскими геохимиками Александром Виноградовым, Александром Роновым, Алексеем Ярошевским, немецким учёным Г. Ведеполем.

После анализа всех научных работ было выяснено, что наиболее распространенным элементом в составе земной коре является кислород. Его кларк — 47%. Следующий аосле кислорода по распространенности химический элемент — кремний с кларком 29,5%. Остальными распространенными элементами являются: алюминий (кларк 8,05), железо (4,65), кальций (2,96), натрий (2,5), калий (2,5), магний (1,87) и титан (0,45). В совокупности на эти элементы составляют 99,48% от всего состава земной коры; они образуют многочисленные химические соединения. Кларки остальных 80 элементов составляют всего 0,01-0,0001 и поэтому такие элементы называются редкими. Если же элемент не только редкий, но и обладает слабой способностью к концентрированию, его называют редким рассеянным.

В геохимии также употребляют термин «микроэлементы», под которым понимают элементы, кларки которых в данной системе менее 0,01. А.Е. Ферсман построил график зависимости атомных кларков для чётных и нечётных элементов периодической системы. Выявилося, что с усложнением строения атомного ядра кларки уменьшаются. Но линии, построенные Ферсманом, оказались не монотонными, а ломанными. Ферсман прочертил гипотетическую среднюю линию: элементы, расположенные выше этой линии, он назвал избыточными (O, Si, Ca, Fe, Ba, РЬ и т.д.), ниже — дефицитными (Ar, He, Ne, Sc, Co, Re и т.д.).

Ознакомиться с распространением важнейших химических элементов в земной коре можно с помощью этой таблицы:

Хим. элемент	Порядковый номер	Содержание, в % от массы всей земной коры	Молярная масса	Содержание, % количество вещества
Кислород O	8	49,13	16	53,52
Кремний Si	14	26,0	28,1	16,13
Алюминий Al	13	7,45	27	4,81
Железо Fe	26	4,2	55,8	1,31
Кальций Ca	20	3,25	40,1	1,41
Натрий Na	11	2,4	23	1,82
Калий K	19	2,35	39,1	1,05
Магний Mg	12	2,35	34,3	1,19
Водород H	1	1,00	1	17,43
Титан Ti	22	0,61	47,9	0,222
Углерод C	6	0,35	12	0,508
Хлор Cl	17	0,2	35,5	0,098
Фосфор P	15	0,125	31,0	0,070
Сера S	16	0,1	32,1	0,054
Марганец Mn	25	0,1	54,9	0,032
Фтор F	9	0,08	19,0	0,073
Барий Ba	56	0,05	137,3	0,006
Азот N	7	0,04	14,0	0,050
Прочие элементы		~0,2		

Распределение химических элементов в земной коре подчиняется следующим закономерностям:

1. Закону Кларка-Вернадского, который гласит, что все химические элементы есть везде (закон о всеобщем рассеянии);
2. С усложнением строения атомного ядра химических элементов, его утяжелением, кларки элементов уменьшаются (Ферсман);

3. В земной коре преобладают элементы с чётными порядковыми номерами и атомными массами.

4. Среди соседних элементов у четных всегда кларки выше, чем у нечетных (установили итальянский ученый Оддо и американский Гаркис).

5. Особенно велики кларки элементов, атомная масса которых делится на 4 (O, Mg, Si, Ca...), а начиная с Al, наибольшими кларками обладает каждый 6-й элемент (O, Si, Ca, Fe).