

**Тема 1. Окружающая среда , ее  
компоненты и объекты:  
понятийная база**

**Окружающая среда** – совокупность **компонентов** природной среды, природных, природно-антропогенных и антропогенных **объектов**.

**Компоненты природной среды** – земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле. Все эти компоненты испытывают все возрастающее антропогенное воздействие и поэтому являются объектами эколого-геохимических исследований.

**Природный ландшафт** – это территория, которая характеризуется сочетанием определенных типов рельефа местности, почв, растительности, сформированных в единых климатических условиях и в пределах которой антропогенные изменения существующими методами достоверно не фиксируются.

**Антропогенный ландшафт** – территория, в пределах которой на всей или на большей ее площади коренному изменению под воздействием человека подверглись если не все, то хотя бы один из компонентов ландшафта, в том числе и растительность.

**Агроландшафты** – это антропогенные ландшафты, у которых естественная растительность заменена растительностью сельскохозяйственного или лесохозяйственного значения. Дифференцируются в зависимости от типа применяемого севооборота на полевые, овощные, садовые и др., в зависимости от водохозяйственных условий – на поливные, богарные и т.д.

**Урбанизированные ландшафты (урболандшафты)** – территории, основные особенности строения и свойства которых определяются наличием в их пределах человеческих поселений и прежде всего городов. Они включают в себя как собственно город, жители которого не связаны с сельскохозяйственной деятельностью, так и его обрамление (санитарную зону), которое испытывает наиболее сильное влияние (техногенное воздействие) города (рекреационная деятельность горожан, загрязнение окружающей среды в промзонах, сгущение сети транспортных магистралей, появление отходов и т.д.).

**Загрязнение окружающей среды** – поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

**Источники загрязнения** – это как вид человеческой деятельности (например, радиотехническое производство, поливное овощеводство), так и конкретные объекты деятельности (завод, свалка, хранилище отходов, автомобильный транспорт и т.д.) или материальные носители загрязняющих веществ (отходы производства, средства химизации).

**Нормативы в области охраны окружающей среды (природоохранные нормативы)** – установленные нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на нее, при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экосистем и сохраняется биологическое разнообразие.

**Нормативы качества окружающей среды** – нормативы, которые установлены в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда.

**Нормативы допустимого воздействия** на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и при которых соблюдаются нормативы качества окружающей среды.

**Нормативы допустимой антропогенной нагрузки** на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с величиной допустимого совокупного воздействия всех источников на окружающую среду и (или) отдельные компоненты природной среды в пределах конкретных территорий и (или) акваторий и при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экосистем и сохраняется биологическое разнообразие.

# **Тема 2. Миграция химических элементов в окружающей среде**

## **2.1. Водная геохимическая миграция**

## Факторы водной геохимической миграции

Миграция химических элементов в водах ландшафтов осуществляется под влиянием внутренних и внешних факторов. **Внутренние факторы** обусловлены физическими и химическими свойствами (константами) элементов и их ионов. **Внешние факторы** определяются параметрами среды, в которой происходит миграция.

**Внутренние факторы** водной миграции – гравитационные свойства атомов и ионов, валентность, ионные радиусы и др.

**Внешние факторы** водной миграции – рН и Eh вод, поверхностные силы природных коллоидных систем, жизнедеятельность организмов, температура и давление.

**Гравитационные свойства атомов и ионов,** определяющие особенности их миграции в гравитационном поле Земли, играют ведущую роль в процессе формирования оболочек земного шара, в то время как в ландшафтах значение этого фактора в геохимической миграции ограничено. Наиболее ярко он проявляется в формировании россыпей, т.е. скоплений в определенных участках речных или морских отложений тяжелых и механически прочных минералов (золота, алмаза, касситерита, циркона, вольфрамита и др.).



От **валентности и ионных радиусов** зависит поведение ионов в водных растворах. Для многих металлов чем больше валентность, тем менее растворимые соединения они образуют, тем, следовательно, ниже их миграционная способность. Поэтому одновалентные щелочные металлы образуют, как правило, легко растворимые соединения ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), двухвалентные щелочноземельные - менее растворимые соединения ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCO}_3$ ). Соединения трехвалентных металлов, таких как  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , еще менее растворимы. Однако, существуют и исключения из этого правила. Так, к примеру,  $\text{MgSO}_4$  - хорошо растворимая соль, а  $\text{AgCl}$  растворяется плохо. Разновалентные ионы одного и того же элемента характеризуются различной подвижностью в водной среде.

Что касается ионных радиусов, то как отмечал А.Е.Ферсман, атомы и ионы, обладающие слишком большими (более 1,60А – Cs, S, Cl, Br, J) или слишком малыми (менее 0,40А - C, B, N, Be, Se, P), обладают и повышенной способностью к миграции и перераспределению.

**По величине рН** природные воды можно разделить на четыре группы:

- сильнокислые воды с  $\text{pH} < 3$ ; их кислотность обусловлена наличием свободной серной, реже соляной кислоты. С такой реакцией воды характерны для некоторых вулканических озер, а также для ландшафтов зоны окисления сульфидных рудных месторождений;
- кислые и слабокислые воды с  $\text{pH}$  3-6,5. Кислотность в основном связана с присутствием  $\text{CO}_2$  и органических кислот. Такие воды свойственны ландшафтам влажных тропиков и субтропиков, таежным и тундровым ландшафтам;
- нейтральные и слабощелочные воды с  $\text{pH}$  6,5-8,5, обусловленным наличием бикарбоната кальция  $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ . Такие воды часто встречаются в степных и пустынных ландшафтах;
- сильнощелочные воды с  $\text{pH} > 9$ . Щелочность их в большинстве случаев обусловлена присутствием соды ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Воды с такой реакцией встречаются в содовых озерах и в ландшафтах солонцов

Многие химические элементы подвижны в широком диапазоне pH и могут интенсивно мигрировать как в кислой, так и в щелочной среде (Na, K, Cs, Li, Rb, F, Cl, Br, I и др.). Катионы большинства металлов ( $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Th}^{4+}$ ,  $\text{Zr}^{4+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ ,  $\text{Sc}^{3+}$  и др.) способны мигрировать только в весьма кислых растворах, не свойственных зоне гипергенеза и легко осаждаются при повышении их щелочности. Поэтому в обычных незагрязненных природных водах, имеющих нейтральную реакцию, содержания этих элементов ничтожны. В щелочной среде элементы, обладающие амфотерными свойствами, могут снова перейти в растворимое состояние с образованием комплексных анионов.

## **Окислительно-восстановительный потенциал (Eh)**

также во многом определяет геохимические особенности природных вод и ландшафтов в целом. **Окислительные условия** связаны с присутствием в водах свободного кислорода атмосферы. Кроме него, окислителями могут быть элементы, находящиеся в высоких степенях окисления, такие как  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{S}^{6+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и другие химические элементы, способные принимать электроны, а также азотная кислота и ее соли, концентрированная серная кислота, хлорная и бромная вода. Главный критерий окислительной обстановки - присутствие **свободного кислорода** в водах. Если он отсутствует, то показателем окислительных обстановок является трехвалентное железо, соединения которого легко узнаются по характерной желтой, красной, бурой и красно-бурой окраске.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) оказывает существенное влияние на миграционную способность элементов, на их рассеяние и концентрацию. Такие элементы, как Cr, V, S в высоких степенях окисления образуют растворимые соединения - хроматы, ванадаты, сульфаты. Поэтому в ландшафтах, где господствует окислительная среда, эти элементы могут обладать высокой миграционной способностью. Железо и марганец в окислительной обстановке, напротив, образуют трудно растворимые соединения  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ , что и объясняет их низкую миграционную способность в кислородных водах.

**В восстановительной обстановке** кислород отсутствует, а роль восстановителей играют различные химические элементы, атомы и ионы которых способны отдавать электроны: Fe, Mn, двухвалентная (отрицательная) сера, водород. Важнейшими агентами восстановительных реакций в природных водах являются микроорганизмы, разлагающие органическое вещество. Щелочные и щелочноземельные элементы (Na, K, Ca, Mg) легко теряют свои валентные электроны и переходят в состояние положительно заряженных катионов, поэтому они также являются сильными восстановителями. Они, в частности, способны выделять из воды водород.

Восстановительная обстановка в ландшафте может быть **сероводородной и глеевой** (при отсутствии  $H_2S$ ). Сероводородные условия создаются в водах, богатых  $SO_4^{2-}$ , где микробиологическое окисление органических веществ осуществляется частично за счет восстановления сульфатов. При этом в водах появляется  $H_2S$ , который легко узнается по запаху. Процессы сульфатредукции протекают преимущественно в условиях щелочной среды ( $pH > 7$ ). Поэтому восстановительная сероводородная обстановка характерна для солончаков, илов соленых озер, степей и пустынь. Следует отметить, что для образования сероводорода необходимо органическое вещество, поэтому сульфатные воды в породах, не содержащих органическое вещество, будут лишены  $H_2S$ .

Присутствие в водах сероводорода приводит к осаждению металлов, имеющих сродство с серой и образующих нерастворимые сульфиды. Это в основном **железо, свинец, цинк, медь, серебро**. Таким образом, воды ландшафтов с сероводородной восстановительной обстановкой характеризуются очень низким содержанием многих тяжелых металлов, вследствие образования этими металлами трудно растворимых сульфидов.



В глеевой обстановке восстановительные процессы, протекающие без участия сероводорода, приводят к образованию пород, илов, почв сизой, зеленой, голубоватой и пятнистой (охристо-сизой) окрасок, свойственных соединениям двухвалентного железа. Именно такие окраски характеризуют восстановительную глеевую обстановку. Свободный кислород и другие сильные окислители здесь либо отсутствуют, либо встречаются в очень незначительных количествах. Из газовых компонентов в водах преобладают  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Воды восстановительной глеевой обстановки содержат мало анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , поэтому сероводород либо не образуется вовсе, либо присутствует в очень малых количествах. Глеевый тип восстановительной обстановки особенно характерен для болот влажнотропической, тундровой, таежной и лесостепной зон.

Для восстановительных глеевых вод характерно повышенное содержание **двухвалентного железа, марганца, метана, гумусовых веществ, фосфора, меди, цинка**. Миграция урана и молибдена возможна только в слабоглеевых водах (при сравнительно высоком Eh), в которых они находятся в высоких степенях окисления ( $U^{6+}$ ,  $Mo^{6+}$ ). При более низких значениях Eh (среднеглеевые воды) уран переходит в четырехвалентное состояние и образует нерастворимые соединения (урановые черни, смолки, коффинит).

**Поверхностные силы природных коллоидных систем** играют не менее существенную роль в процессе миграции элементов в водной среде. Они растут с ростом удельной поверхности, поэтому велики у тонкодисперсных систем, особенно у коллоидов, обладающих высокой сорбционной способностью.

Коллоидная форма миграции и явления сорбции играют важную, а иногда и определяющую роль в миграции и концентрации железа, алюминия, марганца, а также многих микроэлементов в поверхностных водах. Причем особое значение она имеет в условиях влажного климата, где слабокислые воды особенно богаты органическими и неорганическими коллоидами (тонкодисперсные взвеси глинистых минералов, гумусовые органические коллоиды, гидроокислы железа, алюминия, марганца, кремния и др.), которые являются сорбентами - носителями микроэлементов. Более того, можно утверждать, что в водах зоны гипергенеза, где концентрация микроэлементов очень низкая, не достигающая значений, необходимых для выпадения соединений этих элементов из раствора, сорбционное соосаждение (т.е. выпадение в осадок вместе с сорбентом - носителем) является основной причиной прекращения миграции.

Процессам сорбции свойственна **селективность**, которая проявляется в том, что определенными коллоидами поглощаются вполне определенные ионы и молекулы. При этом состав сорбируемых веществ в значительной степени зависит от заряда коллоидных частиц. Положительно заряженными коллоидами являются гидроокислы  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Zr^{4+}$  и др., отрицательно заряженными - частицы кремнезема, глинистые минералы, большинство сульфидов, гидроокислов  $V^{5+}$ ,  $Mn^{4+}$ ,  $Fe^{2+}$ , а также гумусовые органические коллоиды. При благоприятных условиях коллоиды  $Mn^{4+}$  способны сорбировать вплоть до промышленных концентраций Ni, Co, K, Ba, Cu, Zn, Hg, Au, W; коллоиды гидроокислов  $Fe^{3+}$  — As, V, P, Sb, Se; гель кремнезема сорбирует радиоактивные элементы, доломита - Pb, Zn.

# Водная миграция масс нерастворимых форм тяжелых металлов

Металлы	Суммарный годовой массопоток металла	Масса нерастворимы х форм в годовом массопотоке	Доля нерастворим ых форм в годовом массопотоке, %
1*10 <sup>6</sup> т/год			
Fe	990	963	97,3
Ti	75,6	75,4	99,7
Mn	20,9	20,5	98,1
Zn	6,68	5,86	87,7
V	3,53	3,48	98,6
Cr	2,50	2,46	98,4
Pb	2,87	2,83	98,6
Cu	1,88	1,52	83,1
Ni	1,70	1,38	81,2
Co	0,35	0,34	97,1
Ga	0,344	0,34	98,8
Cd	0,022	0,013	59,1

**Жизнедеятельность организмов** как фактор геохимической миграции проявляется практически целиком в зоне гипергенеза. Выделяемые корнями растений органические кислоты способны разрушать кристаллические решетки многих минералов, способствуя переходу слагающих их элементов в растворы. Цирконий, титан, иттрий и некоторые другие малоподвижные элементы могут мигрировать в виде органических комплексных соединений. Поэтому в таежно-болотных, тундровых и других районах, воды которых богаты органическими кислотами, интенсивность их миграции увеличивается. Кроме того, обитающие в водоемах микроорганизмы извлекают из воды различные химические элементы (N, P, Ca, S, K, микроэлементы) в процессе жизнедеятельности. Это извлечение протекает избирательно и иногда в значительных количествах.

# Геохимические показатели водной миграции

**Коэффициент водной миграции А.И. Перельмана:**

$$K_x = (m_x \cdot 100) / (a \cdot n_x),$$

где  $m_x$  – содержание химического элемента в водах, г/л;  $n_x$  – его содержание в горных породах, дренируемых этими водами, вес %;  $a$  – сумма минеральных веществ, растворенных в воде, г/л.

**Градация химических элементов по интенсивности их водной миграции:**

I – очень подвижные мигранты (Cl, Br, B, I и др.) –  $K_x - n \cdot 10 - n \cdot 100$ ;

II – легкоподвижные мигранты (Ca, Na, Mg, Sr и др.) –  $K_x - n$ ;

III – подвижные мигранты (K, P, Pb, Li и др.) –  $K_x - 0, n$ ;

IV – слабоподвижные и инертные мигранты (Al, Ti, Zr, Sn, Pt и др.) –  $K_x - 0, 0n$  и менее.

## **2.2. Атмосферная миграция**



Атмосфера – это газообразная воздушная оболочка, которая вращается вместе с Землей и масса которой оценивается величиной  $5,15 \cdot 10^{15}$  т.

Большая часть этой массы находится в слое 16 км, а выше 100 км находится лишь одна миллионная часть массы атмосферного воздуха.

Ни на одной планете Солнечной системы (кроме Венеры) нет такой обширной воздушной оболочки (есть на Титане – спутнике Сатурна, но она состоит из метана).

# Факторы атмосферной геохимической миграции

Миграция химических элементов воздушным путем осуществляется благодаря общей и местной циркуляции атмосферы. В нижних ее слоях постоянно происходят вертикальные (восходящие и нисходящие) и горизонтальные перемещения воздушных масс различной силы и направления. Такие воздушные потоки, формируемые обычно благодаря температурным градиентам и связанные с местной и общей циркуляциями атмосферы, способны перемещать химические элементы на сотни и тысячи километров. При этом формы их переноса могут быть различными. Прежде всего следует различать перенос химических элементов с **твердыми и жидкими аэрозольными частицами.**

В составе атмосферных осадков встречаются те же элементы, что и в природных водах на поверхности Земли: Na, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ .

Основные источники поступления ионов в атмосферу:

- привнос ионов с брызгами морской воды и при штормовой погоде (попадают  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )
- эоловый привнос сухих солей с суши (продукты выветривания осадочных пород – ионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )
- продукты вулканических извержений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , Cl,  $\text{NH}_3$  и др.)
- промышленные выбросы металлургических, химических заводов, ТЭЦ и др. ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , тяжелые металлы и др.)
- атмосферные электрические разряды (азот превращается в NO и  $\text{NO}_3$ )

По степени минерализации воды атмосферы делятся на 4 группы:

- воды слабой минерализации (0-25 мг/л);
- воды средней минерализации (25-50 мг/л);
- воды повышенной минерализации (50-100 мг/л);
- воды высокой минерализации (>100 мг/л).

Наиболее минерализованные воды в атмосфере возникают за счет попадания высокоминерализованных вод с земли (аэродинамические процессы, брызги морской воды, пыль, содержащая соль, дымы и т.д.). Атмосферные воды с наибольшей минерализацией встречены у побережья Аральского моря. Минерализация осадков увеличивается в областях современного вулканизма, а также в зоне влияния крупных промышленных центров. Наименее минерализованные атмосферные осадки выпадают в высокогорных областях континентов.

При движении воздушной массы, сформированной над океаном вглубь континента минерализация осадков уменьшается по мере их выпадения. Подсчитано, что с осадками на морских побережьях выпадает около 50 мг/л солей, а в пределах континента на расстоянии 150 – 200 км от побережья – около 30 мг/л.

Над континентами степень минерализации осадков определяется климатическими условиями. Она максимальна в пределах пустынных и полупустынных ландшафтов (около 180 мг/л), где большие пространства покрыты солончаками и минимальна во влажных тропических лесах (около 20 мг/л), где запыление атмосферы невелико. **Однако суммарное количество поступающих на поверхность с осадками солей будет выше в областях достаточного увлажнения, чем в сухих областях, за счет почти в 20 раз большего количества выпадающих здесь осадков.**

# Геохимические показатели атмосферной миграции

Для характеристики атмосферной миграции химических элементов разработан ряд геохимических показателей: коэффициент атмогеохимической активности, коэффициент аэрозольной концентрации и так называемая «пылевая нагрузка».

**Коэффициент атмогеохимической активности**, предложенный М.А.Глазовской, представляет собой отношение количества элемента, поступающего с осадками за год, к его количеству, потребляемому растениями за год. Этот показатель характеризует степень вовлечения в биологический круговорот элементов, поступающих с атмосферными осадками. Иными словами, этот показатель определяет эффективность использования атмосферных осадков живым веществом природной системы.

Коэффициент аэрозольной концентрации и «пылевая нагрузка» используются для оценки твердофазных атмосферных выпадений.

**Коэффициент аэрозольной концентрации ( $K_{ак}$ )**, предложенный В.В.Добровольским, представляет собой величину отношения содержания элемента в пыли к его среднему содержанию (кларку) в земной коре. Иными словами, этот коэффициент представляет собой кларк концентрации химического элемента в твердой фазе аэрозоля, рассчитанный относительно земной коры.

## «Пылевая нагрузка» ( $P_n$ )

представляет собой количество твердых выпадений из атмосферы на единицу площади в единицу времени.

Рассчитывается по формуле  $P_n = P / S \times t$ ,

где  $P$  – вес твердого вещества в (г), содержащегося в пробе,  $S$  – площадь отбора пробы ( $m^2$ );  $t$  – время (сутки), которое выпало данное количество пыли.



Суммарное поступление твердого вещества используется в дальнейшем при определении элементной «нагрузки» на ландшафты:

$P_{\text{общ}} = (C \times P_n) / 100$ , где  $P_{\text{общ}}$  – общая нагрузка элемента, т.е. приход элемента (г) на 1 км<sup>2</sup> площади в течение суток;  $C$  – концентрация данного элемента в твердом веществе (пыли), выраженная в вес.% ;  $P_n$  – суммарный приход твердого вещества ( г/м<sup>2</sup> в сутки).

## 2.3. Биогенная миграция

Живые организмы принимают непосредственное участие в геохимической миграции, в ходе которой химические элементы поглощаются организмами, а также оказывают на нее значительное косвенное влияние, создавая определенные условия среды, в которой происходит миграция. Таковы, в частности, окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия, связанные, как правило, с содержанием в ландшафте кислорода, углекислого газа, сероводорода, органических кислот и других продуктов обмена веществ живых организмов.

Закон А.И.Перельмана о  
геохимической роли живого вещества:  
*основные геохимические особенности  
большинства ландшафтов  
определяются деятельностью живого  
вещества – совокупности живых  
организмов.*

# Фитогеохимическая миграция

## Факторы фитогеохимической миграции:

- **физиологические и биохимические потребности самих растений** (находясь в непрерывном контакте с атмосферой, гидросферой и почвенным покровом, накапливают, помимо комплекса обычных биогенных элементов, разнообразные микроэлементы, набор которых зависит как от физиологических особенностей растений, так и от геохимических особенностей среды, с которой они взаимодействуют);
- **общий химический состав почв** (под влиянием алюминия сокращается поступление в растения хлора, кальция, магния, калия, натрия и железа; азот тормозит усвоение растениями марганца, а калий и натрий, наоборот способствуют накоплению этого элемента в растениях; калий препятствует поступлению в растения железа и кобальта);

- **физико-химические условия почвенной среды** (в восстановительных условиях растения будут предпочтительнее усваивать низковалентные формы элементов, а в окислительных – наоборот; в кислой среде растения поглощают катионогенные элементы, в щелочной – анионогенные);
- **биологическая деятельность микроорганизмов;**
- **климатические условия** (железо накапливается преимущественно в засушливые годы, а марганец, медь, цинк, молибден – во влажные).

Химический состав растений формируется под влиянием большого количества одновременно действующих факторов, сущность которых в значительной степени сводится к зависимости химического состава растений от типа почвы, на которой они произрастают. Но формирование того или иного типа почв тесно связано с географической зональностью. В этой связи обнаруживаются вполне определенные географические закономерности в накоплении в фитомассе химических элементов.

# Зоогеохимическая миграция

Вовлечение химических элементов в миграционные пути осуществляется в результате трофической, гнездостроительной, роющей деятельности животных, а также при суточных и сезонных миграциях.

Особое место в зоогеохимической миграции принадлежит птицам, в связи с их способностью перемещаться на большие расстояния.

Особенно большая роль принадлежит птицам в биогеохимических циклах (в частности фосфора) океанических островов и некоторых побережий (в местах колоний птиц накапливается до 1 т/га органического вещества в виде птичьего помета, состоящего из смеси фосфорорганических соединений, хорошо растворимых в воде).

# Геохимические показатели биогенной миграции

Наиболее распространенным показателем биогенной миграции является **коэффициент биологического поглощения ( $K_b$ )**, который впервые предложил использовать Б.Б. Плынов. Этот коэффициент показывает во сколько раз содержание того или иного элемента больше в золе растения (или животного), чем в литосфере в целом, или в конкретной горной породе, почве. Чем больше величина  $K_b$ , тем энергичнее элемент поглощается организмами, в частности растениями.



## Ряды биологического поглощения элементов

Группа элементов	Интенсивность накопления или захвата	Коэффициенты биологического поглощения				
		100 · n	10 · n	n	0,0n	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, 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	