РЯДЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ТИПАХ ЛАНДШАФТОВ

В процессе формирования биогеохимических ореолов решающую роль играет биогенез, в результате действия которого происходит накопление ряда элементов в живом веществе. Поскольку организмы выборочно поглощают различные элементы, то и соответствие между их содержаниями в почве, породе и живом веществе подчинено определенной закономерности.

Для определения этого соответствия Б. Б. Полюнов ввел понятие коэффициента биологического поглощения— $A_x = I_x / n_x$, где I_x —содержание элемента x в золе растений, n_x —содержание в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение. По данным В. А. Ковды, А. П. Виноградова, Д. П. Малюги и др., А. И. Перельманом вычислены средний состав зола живого вещества, средние величины коэффициентов биологического поглощения и классифицированы элементы на группы по их A_x [4], используя при этом кларковые содержания элементов.

В настоящей статье была сделана попытка определить ряды биологического поглощения элементов в пределах некоторых конкретных геохимических типов ландшафтов с различными классами водной миграции. Исследования велись по почвенным горизонтам и горизонтам рыхлых новообразований—горизонты A_0 , A_1 , где происходят самые интенсивные и характерные процессы веществообмена между почвой и корневой системой растительности. Использование в качестве величины n_x содержания элементов в подстилающих коренных породах нам представляется методически неверным, т. к. распространенные на одних и тех же породах почвы обладают нередко различными классами водной миграции. При этом в почвах одного класса происходят процессы интенсивного выщелачивания, а в почвах другого, при прочих равных условиях,—процессы накопления элементов.

Опробование органики прежде всего было ориентировано на травянистые растения с неглубокопроникающей корневой системой и, по мере возможности, с выбором вида, наиболее характерного для каждого геохимического типа ландшафта.

Нами были составлены ряды биологического поглощения элементов в пределах следующих геохимических типов ландшафтов (г. т. л.): альпийского, субальпийского, лесостепного, сухих лесов и кустарников, умеренно-влажных степей.

Альпийский г. т. л. развит на горно-луговых коричневых, среднедерновых, маломощных почвах, которые образовались на продуктах выветривания базальтов, андезитов-базальтов и андезитов. Класс водной миграции этих почв—кислый. Типоморфным элементом является водород. Опробование растительности проводилось по характерным и наиболее распространенным представителям ландшафта—осока (*Carex*), колюченосник (*Echinophora*), лишайники (*Lichenes*), а также смешанным травянистым растениям. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Как показывает таблица, в пределах альпийского г. т. л. фосфор занимает место в группе сильного накопления. Это может быть результатом частичной абиогенности альпийского г. т. л. и процессов интенсивного выщелачивания почв и рыхлых новообразований. Нахождение К в первой группе объясняется его высокой энергией поглощения, что подтверждается данными В. С. Самаринной [5]. Нахождение Na, Mg и Sr в группе среднего биологического захвата является результатом преобладания процессов интенсивного выщелачивания в альпийском г. т. л. В этой же группе находятся также Mn и Rb, что для Mn объясняется его избыточным содержанием (по данным анализов вод и почв) в зоне гипергенеза района. Поведение же Rb нуждается в дополнительных исследованиях. Цинк занимает место в группе слабого захвата, что является результатом выборочного поглощения элемента некоторыми растениями (напр., фиалковые—*Violaceae*).

Все остальные элементы занимают места в рядах слабого и очень слабого биологического захвата.

Субальпийский г. т. л. развит на горных черноземах, горно-луговых, остепненных, коричневых, коричнево-каштановых почвах мощностью 50—60 см. Они образовались на элювиально-делювиальных продуктах базальтов, андезитов-базальтов. Ландшафт характеризуется кислым классом водной миграции и типоморфностью иона водорода. Типичными видами растений субальпов этого района являются *Lichenes*, некоторые разновидности злаков (*Gramineae*), бессмертник (*Xeranthemum*) и др. Помимо видового анализа растений опробованию подверглись также валовые пробы с участка в один квадратный метр. Данные исследований обобщены в табл. 1.

В пределах субальпийского г. т. л. К и Р выступают в ряду интенсивного биологического накопления. Zr, Cu, Pb, Ti, Mn и Rb находятся в группе среднего биологического захвата, что, по всей вероятности, является результатом увеличения мощности почвенного покрова, а нахождение Zn в группе слабого захвата—результат его выборочного поглощения произрастающим здесь растительным сообществом. Интересен тот факт, что анализами не обнаружены содержания элементов, соответствующих группе слабого биологического захвата. Нам представляется, что

Ряды биологического поглощения элементов в различных типах ландшафтов*

			Альпийский г.т.л.	Субальпийский г.т.л.	Лесостепной г.т.л.		г.т.л. сухих лесов и кустарников	г.т.л. умеренно-влажных степей	
			Н класс	Н класс	Н→Са класс	Са класс	Н класс	Н→Са класс	Са класс
Элементы биологического накопления	Энергичного	100·п	К	К, Р	К, Са, <u>Р</u> , <u>Мп</u> , <u>Рb</u>	Са, <u>К</u>	Р	К	Са, <u>К</u>
	Сильного	10·п	Са, Р, <u>Рb*</u>	Са, Na, <u>Рb</u>	Са, К, Р, <u>Рd</u> , <u>Мп</u> , <u>Мg</u>	К, Са, Na, <u>Мп</u> , <u>Зr</u> , P(?)	К, Са, <u>Рb</u> , <u>Si</u> , <u>Мп</u> , <u>Р</u>	Са, К, <u>Рb</u> , <u>Na</u>	К, <u>Са</u> , <u>Zn</u>
Элементы биологического захвата	Среднего	п	<u>Mg</u> , Na, <u>Мп</u> , <u>Сu</u> , <u>Sr</u> , <u>Рb</u> , <u>Са</u>	<u>Mg</u> , <u>Мп</u> , <u>Ni</u> , <u>Ti</u> , <u>Zr</u> , <u>Сu</u> , <u>Pb</u> , <u>Sr</u> , <u>Рb</u> , <u>Na</u> , <u>Al</u>	<u>Mg</u> , Na, <u>Мп</u> , <u>Pb</u> , <u>Ni</u> , <u>Sr</u> , <u>Сu</u> , <u>Zn</u>	<u>Mg</u> , <u>Zr</u> , <u>Сu</u> , <u>Sr</u> , <u>Рb</u> , <u>Мп</u> , <u>Ti</u>	Na, <u>Mg</u> , <u>Мп</u> , <u>Si</u> , <u>Ni</u>	Na, <u>Мп</u> , <u>Сu</u> , <u>Zn</u> , <u>Sr</u>	<u>Mg</u> , Na, <u>Si</u> , <u>Мп</u> , <u>Ni</u> , <u>Ti</u> , <u>Сu</u> , <u>Pb</u> , <u>Sr</u> , <u>Рb</u> , <u>Zr</u>
	Слабого	0, п	Si, Al, Ni, Fe, Ti, Zr, Pb, Zn	Si, Al, Fe, Zn	Si, Al, Fe, Ti, Zr, Zn, <u>Мп</u> , <u>Pb</u>	Si, Al, Fe, <u>Мп</u> , <u>Ti</u> , <u>Рb</u> , <u>Zn</u> (?)	Fe, Ti, Zr, <u>Сu</u> , <u>Pb</u> , <u>Zn</u> , <u>Ni</u> , <u>Al</u>	Zr, Si, Al, Fe, Ni, Ti, <u>Рb</u>	Al, Zr, Fe
	Очень слабого	0,0п—0,00п	<u>Fe</u>		<u>Al</u> , <u>Fe</u> , <u>Ni</u> , <u>Zr</u>		<u>Al</u> , <u>Pb</u>		

* Металлогенические особенности района ориентировали исследования только на ограниченное число элементов.

** Подчеркнутые элементы в данных количествах встречаются в единичных пробах.

объяснением этому может служить непосредственная взаимосвязь подстилающих пород и корневой системы растений, определяющие извлечение элементов корнями в больших количествах, чем необходимо для жизни растений. При этом решающую роль играют господствующая кислая среда и сравнительно замедленное протекание процессов выщелачивания.

Г. т. л. сухих лесов и кустарников развит на лесных, коричневых, на поверхности выщелоченных, а также послелесных, бескарбонатных почвах с нехарактерной для таких ландшафтов мощностью 50—60 см. Роль органических кислот здесь возрастает, и органокомплексная форма нахождения некоторых элементов становится господствующей. Легкому передвижению и накоплению элементов в растениях с коэффициентом миграции < 1 способствует неглубокое расположение иллювиального горизонта. Из характерных представителей растительного сообщества ландшафта опробованию подверглись *Gramineae*, маревые (*Chenopodiaceae*), тонколистниковые (*Hymenophyllaceae*) и смешанные пробы травянистых растений. Результаты приведены в табл. 1.

Большая крутизна и расчлененность рельефа определяют интенсивное промыгание лесных почв этого района, что приводит к выносу продуктов выветривания, Удаление Ca, Na, Mg, K и др., которые не успевают полностью нейтрализовать CO_2 приводит к образованию избыточной кислой среды, обуславливающей большую подвижность многих элементов. По всей вероятности, этим же объясняется нахождение Si и Rb в группе сильного биологического накопления. Из остальных элементов более или менее интересно нахождение Sr в третьей группе. Низкий кларк определяет меньшую роль его в формировании химического состава природных веществ. В данном случае нахождение Sr в более высокой группе, по всей вероятности, обусловлено его избытком в магматических горных породах, которыми представлены подстилающие образования. Кислая среда, обеспечивающая интенсивность процессов выщелачивания, а также благоприятные рельефно-морфологические условия, способствуют сравнительно легкому выделению и удалению стронция из этих пород и его захвату корневой системой растительного сообщества.

Лесостепной г. т. л. с кислым, переходящим в кальциевый, классом водной миграции развит на темно-каштановых, на поверхности в основном бескарбонатных, послелесных, остепненных, скелетных почвах, а также на горных черноземах со средней и большой мощностью. Типоморфными элементами являются ион водорода (приповерхностная часть почв) и углекислый кальций (на глубине 50—60 см). В пределах этого ландшафта выделены и почвы с кальциевым классом водной миграции. Здесь распространены светло-каштановые и темно-каштановые почвы. Типоморфным для них является подвижный углекислый кальций. Ландшафт характеризуется еще и сбалансированным привносом-выносом материала, аккумуляцией вещества на супераквальных пологих участках рельефа и большим разнообразием растительного сообщества—*Gramineae*, *Carex*, *Xeranthemum*, *Echinophora*, *Hymenophyllaceae* и др. Данные по лесостепному г. т. л. приведены в табл. 1. Отобранные в пределах этого ландшафта пробы, в частности *Gramineae*, выделялись как показатели благоприятных биоклиматических условий, чего не наблюдалось в других ландшафтах.

В пределах лесостепного г. т. л. с переходным классом водной миграции (табл. 1) наблюдаются значительные отклонения от ранее описанных данных. Основным элементом энергичного накопления здесь является K. Привнос гипергеевого материала с автономных сопряженных ландшафтов как в результате механического, так и хемогенного составляющих и сравнительно благоприятные условия накопления продуктов выветривания создают обстановку для извлечения элементов из почв корневой системой растений. В результате K как «элемент жизни» усваивается в первую очередь. В первой группе, в единичных пробах, оказались Mn и Rb. По той же причине, в группе очень слабого биологического захвата в единичных пробах обнаружены Al, Fe, Ni и Zr, подвижность которых проявляется только в кислой среде.

В пределах лесостепного г. т. л. с Ca классом водной миграции, как и ожидалось, происходит энергичное накопление Ca. Привнос и аккумуляция материала приводят к избыточному содержанию K и Na, которые находятся в группе сильного накопления. В пределах этого ландшафта все исследованные элементы обладают Ах, превышающим величину 0,01 (табл. 2). Кроме всего отмеченного, к этому может привести и осязаемое увеличение массы корневой системы, что тоже является одним из следствий перехода к более благоприятным биоклиматическим и рельефно-морфологическим условиям.

Геохимический тип ландшафтов умеренно-влажных степей также характеризуется двумя классами водной миграции—H→Ca и Ca. Этот тип ландшафта на исследованной территории занимает исключительно аккумулятивные формы рельефа. Сложен выщелоченными карбонатными почвами светло-каштанового, каштанового цвета с большой и средней мощностью. Почвы имеют скелетную структуру до глубины 60—70 см. Отдельными, но значительными площадями распространены и остепненные, рыхлые почвы. Все эти почвы образовались на продуктах выщелачивания базальтов, андезитов-базальтов, порфиритов, глин, а также на песчано-гравийно-щебенистых продуктах их выветривания. Наиболее интенсивная аккумуляция ионно-коллоидного вещества происходит в почвах (следовательно, и растениях, произрастающих на них) с Ca классом водной миграции. Опробовались бодяк (*Cirsium*), *Gramineae*, *Bryopsida*, *Echinophora*, *Carex*, *Chenopodiaceae*, *Hymenophyllaceae* и смешанные пробы травянистых растений. В табл. 1 приводятся ряды биологического поглощения элементов для лесостепного ландшафта с H→Ca и Ca классами.

Изменение величин A_x элементов в зависимости от ландшафтно-геохимических условий

Элементы	A_x по типам и классам ландшафтов						
	альпийский	субальпийский	сухие леса и кустарники	лесостепи		умеренно-влажные степи	
	Н	Н	Н	Н→Са	Са	Н→Са	Са
Si	0,п—п	0,п	п·10	0,п	0,п	0,п	п
Al	0,п	0,п—п	0,0п—0,п	0,0п—0,п	0,п	0,п	0,п
Mg	0,п—п	п	п	п—п·10	п	?	п
Ca	п—п·10	п·10	п·10	п·10—п·100	п·10—п·100	п·10	п·10—п·100
Fe	0,0п—п	0,п	0,п	0,0п—0,п	0,п	0,п	0,п
Na	0,п—п	п—п·10	п	п	п·10	п—п·10	п
K	п·10—п·100	п·10—п·100	п·10	п·10—п·100	п·10—п·100	п·10—п·100	п·10—п·100
Mn	п	п	п—п·10	п—п·10—п·100	0,п—п	п	п
Ni	0,п	п	0,п—п	0,0п—п	?	0,п	п
Ti	0,п—п	п	0,п	0,п	0,п—п	0,п	п
Zr	0,п	п	0,п	0,0п—0,п	п—п·10	0,п	0,п—п
Cu	п	п	0,п	п	п	п	п
Pb	0,п	п	0,0п—0,п	0,п—п	0,п	0,п	п
Zn	0,п—п	0,п	0,п	0,п—п	0,п(?)	п	п·10
Sr	п	п	п	п	п	п	п
P	п·10	п·10—п·100	п·10—п·100	п·10—п·100	п·10(?)	?	?
Rb	п—п·10	п—п·10	п·10	п·10—п·100	п	п·10	п

Как известно, под воздействием рельефных, биоклиматических факторов биологический круговорот водных мигрантов в степях отмеченного типа происходит интенсивнее, чем в более высоко расположенных ландшафтах. Общая масса катионов по эквивалентному количеству превосходит общее количество анионов и при этом образующиеся органические кислоты нейтрализуются Са и частично Mg. В данном случае это явление определяет переходный класс миграции элементов в ландшафте.

В местах, где больше непоглощенного Са, происходит связывание его с CO_2 , являющегося одним из продуктов разложения растительных остатков. В нижних частях почвенного горизонта содержание CO_2 в почвенном воздухе уменьшается и происходит осаждение CaCO_3 . Поэтому ниже горизонта, обогащенного гумусом, почти повсеместно в пределах данного ландшафта распространяется горизонт вымывания, где аккумулируются элементы.

По А. И. Перельману, К. например, в пределах этих горизонтов образует новые минералы, но преимущественно снова поглощается, занимая место в группе энергичного биологического накопления и сильного накопления. Благоприятные условия (привнос материала, его аккумуляция, мощность корневой системы и т. д.) определяли и повышенные значения A_x всех элементов.

Таким образом, при проведении биогеохимических поисков становится обязательным определение геохимического типа ландшафта и биогеохимических особенностей произрастающего в этом типе ландшафта растительного сообщества. По некоторым элементам отклонения величины A_x могут быть настолько велики, что их можно принять за аномалии (табл. 2), но, как показали исследования, эти отклонения могут быть отражением геохимических и биогеохимических особенностей ландшафта.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 9. III. 1987.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983, 188 с.
2. Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М.: Изд. АН СССР, 1963, 250 с.
3. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1966, 391 с.
4. Перельман А. И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979, 357 с.
5. Самарина В. С. Гидрогеохимия. Л.; Изд. ЛГУ 1977, 352 с.

Известия АН АрмССР, Науки, о Земле, XLI, № 1, 52—56, 1988

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.311

М. Р. АВАКЯН

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ДИССИПАТИВНОЙ ФУНКЦИИ. МАНТИИ ЗЕМЛИ

В последнее время появились экспериментальные данные по поверхностным волнам и собственным колебаниям Земли, позволяющие исследовать крупномасштабные сферически несимметричные неоднородности в строении мантии.

В работах Ф. Гильберта, Т. Жордана, А. Дзевонского [10, 11, 6] были построены сферически несимметричные упругие модели мантии Земли. Вопрос решался в постановке обратной задачи на основе техники, разработанной Ф. Гильбертом и А. Дзевонским [7], Т. Жорданом [8] и Ф. Даленом [4, 5]. Однако, по ряду причин [9], эта техника не применима к расчету сферически несимметричной диссипативной функции мантии. Эта задача может быть решена только в прямой постановке следующим образом: задаются пробные трехмерные неупругие модели, по этим моделям рассчитываются спектры колебаний, которые затем сравниваются с наблюдаемыми спектрами.

Теория возмущений

Впервые теоретическое исследование возможности расчета сферически несимметричных неоднородностей было проведено в работах В. Н. Жаркова и В. М. Любимова [1, 2] и Г. Бейкуса [3]. Спектр свободных колебаний Земли обычно вычисляется по сферически симметричной, невращающейся упругой и изотропной модели