Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 4

ГЕОХИМИЯ

А. И. ПЕРЕЛЬМАН

РЯДЫ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 21 II 1955)

Понятие о миграционной способности химических элементов в коре выветривания разработано Б. Б. Полыновым, им же даны хорошо известные «ряды миграции» важнейших элементов. Как было показано нами ([3]), алгебраическим выражением пересчета, применявшегося Б. Б. Полыновым для определения миграционной способности, может служить следующая формула:

$$\frac{P_x}{P_y} = \frac{m_x n_y}{n_x m_y}, \qquad (1)$$

где P_x и P_y — соответственно, миграционная способность в коре выветривания элементов x и y; m_x и m_y — содержание этих элементов в воде рек, дренирующих зону выветривания; n_x и n_y — содержание данных элементов в горных породах бассейна рек.

При этом методе расчета невозможно определить абсолютные величины P_x и P_y, но можно вычислить только их относительные значения, которые выражаются в процентах от миграционной способности наиболее энергично выносимого элемента (обычно хлора). Подобная методика несколько нивелирует представление об абсолютном значении миграционной способности каждого элемента, так как для любых природных условий мы принимаем миграционную способность хлора за 100. Этого недостатка пересчета можно избежать, если использовать предлагаемый нами «коэффициент водной миграции элементов в коре выветривания», представляющий собой частное от деления содержания химического элемента в минеральном остатке речной воды на среднее содержание этого элемента в горных породах, дренируемых этой рекой и ее притоками, а именно:

$$k_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}, \qquad (2)$$

где k_x — коэффициент водной миграции элемента x, m_x — содержание этого элемента в воде данной реки в мг / л, a — минеральный остаток воды реки в мг / л, n_x — содержание элемента x в горных породах, слагающих бассейн реки в %.

Нетрудно убедиться, что для каждого района будет правильна нижеприводимая формула (3), показывающая, что коэффициенты водной миграции различных элементов относятся друг к другу как их миграционные способности, определяемые по методу Б. Б. Полынова:

$$\frac{P_x}{P_y} = \frac{k_x}{k_y}. \qquad (3)$$

В табл. 1 для примера приведены коэффициенты водной миграции элементов в зоне выветривания гранитов одного из горно-степных районов СССР. Изучался состав воды небольшого ручья, дренирующего гранитный массив; минеральный остаток воды 228 мг/л, время отбора проб — начало осени (устойчивая межень).

Таблица 1

Коэффициенты водной миграции элементов в зоне выветривания гранитов степной зоны

Химические элементы и окислы	Содержание элементов и окислов		Коэффиц. водной миграции по формуле (2)	Миграционная способность элементов по формуле (1)
	в гранитах в %	в воде ручья в мг/л		
SiO_2	71,00	20,00	0,1	0,03
Al_2O_3	13,98	0,01	0,0003	0,0001
CaO	1,05	74,34	31	10
MgO	0,70	15,94	10	3
K_2O	4,84	4,08	0,3	0,1
Na_2O	4,09	15,68	1,6	0,5
P_2O_5	0,06	0,04	0,2	0,09
SO_3	0,12	27,97	102	33
Cl	0,02	14,00	307	100

Из формулы (3) следует, что, приняв наибольшее значение k_x за 100 и пропорционально изменив все остальные величины k_x, мы можем получить «миграционную способность по Б. Б. Полынову». Коэффициент водной миграции данного элемента может быть определен и при ограниченных аналитических данных, например при отсутствии сведений о содержании хлора в водах и породах (без которых невозможно определение миграционной способности по ранее применявшейся методике).

К сожалению, данных для точного определения коэффициентов водной миграции пока еще очень мало, так как анализы речных вод редко сопровождались анализом горных пород бассейна (и обратно). В связи с этим представляет интерес приблизительное определение коэффициентов водной миграции, исходя из химического состава воды крупных рек и среднего состава горных пород их бассейна. Во многих случаях для определения порядка величин можно использовать средние кларки литосферы, средние кларки изверженных пород, кларки почв Русской равнины и другие данные.

Используя эти данные, а также имеющиеся в литературе сведения о содержании ряда химических элементов в речных водах, мы определили коэффициенты водной миграции k_x для ряда химических элементов, миграционная способность которых в коре выветривания не была известна. Так, используя данные В. В. Даниловой ([1]) для фтора, Д. П. Малюги ([2]) для кобальта, никеля и меди, Л. С. Селиванова ([6]) для брома и др., мы рассчитали величины k_x для этих элементов*.

Так, для коэффициента водной миграции фтора в бассейнах Невы, Волги, Москвы, Оби, Днепра, Енисея, Дона, мелких рек Забайкалья, рек Средней Азии и других районов были получены величины от 1 до 4 (кларк фтора по уточненным данным В. В. Даниловой был принят равным 0,03%). Вычисление k_x для таких широко распространенных элементов, как кальций, магний и натрий, показало, что коэффициенты водной миграции для них также обычно колеблются в пределах от 1 до 5. Таким образом, фтор по своей миграционной способности в коре выветривания относится к группе «легко выносимых» элементов Б. Б. Полынова (вместе с Ca, Na, Mg); его миграционная способность значительно ниже, чем у других галогенов (Cl, Br, J), образующих группу «энергично выносимых элементов», для которых k_x по нашим подсчетам колеблется в пределах $n \cdot 10$—$n \cdot 100$.

Используя данные Д. П. Малюги о содержании кобальта, никеля

* Значительная часть пересчетов была выполнена тов В. Е. Рясиной.

и меди в воде Днепра, Дона, Клязьмы, Урала, Ак-буры и других рек, мы рассчитали ориентировочные коэффициенты водной миграции для этих элементов. Было установлено, что Co, Ni и Cu характеризуются значительно более низкой миграционной способностью, чем Ca, Mg и Na и что k_x для них равен 0, n, аналогично группе «подвижных элементов» рядов миграции Б. Б. Полынова: SiO_2 силикатов, P и Mn.

Приведенные расчеты позволили дополнить ряды миграции Б. Б. Полынова (см. табл. 2).

Таблица 2

Ряды миграции химических элементов в элювиальной коре выветривания влажного умеренного пояса

№№ рядов	Миграционные ряды элементов	Состав рядов миграции	Коэффициенты водной миграции K_x
I	Энергично выносимые	Cl, Br, J, S	$n \cdot 10 — n \cdot 100$
II	Легко выносимые	Ca, Na, Mg, K(?)*, F	n
III	Подвижные	SiO_2, P, Mn, Co, Ni, Cu	$n \cdot 10^{-1}$
IV	Инертные (слабо подвижные)	Fe, Al, Ti	$n \cdot 10^{-2}$

* Конкретных материалов для вычисления миграционной способности калия очень мало. Его положение во II ряду условно. Некоторые данные указывают на значительно более низкую миграционную способность калия, отвечающую III ряду.

Эти ряды следует рассматривать как приближенные и усредненные данные, относящиеся лишь к элювиальной коре выветривания влажного умеренного пояса. В зависимости от обстановок водной миграции и типа выветривающихся пород ряды миграции могут значительно отличаться от приведенных в табл. 2 *. Так, например, во влажных тропиках с характерными для них высокими температурами и огромной интенсивностью процессов выветривания и выноса, миграционная способность элементов резко возрастает, ряды миграции, приведенные в табл. 2, не выдерживаются. Во влажных тропиках, в частности, приобретает высокую миграционную способность SiO_2 силикатов (k_x почти как у двухвалентных катионов), резко возрастает миграционная способность алюминия и титана, энергично выносятся многие редкие металлы.

Еще более отличны ряды миграции для зоны окисления сульфидных месторождений с характерной для нее резко кислой средой (наличие свободной H_2SO_4) и высокой подвижностью многих элементов.

Для коры выветривания тундры, северной тайги, болот влажной умеренной и тропической полосы характерны свои особые ряды миграции с высокой подвижностью железа и марганца, возможно также кобальта, никеля и других металлов (k_x для железа близок к 1).

Ряды миграции дают суммарную характеристику выноса элементов из коры выветривания, не учитывая перераспределения элементов в пределах элювия, в частности усиленного выноса их из верхних горизонтов и закрепления в нижних. Некоторые «подвижные элементы» рядов Б. Б. Полынова могут интенсивно вымываться из верхней части коры выветривания и закрепляться в нижней, образуя местные концентрации.

* Следует также иметь в виду, что в рядах миграции показана миграционная способность элементов в растворенном состоянии; миграция в виде механических взвесей и более грубых дисперсий здесь не учитывается.

Можно сказать, что для каждого массива выветривающихся пород характерны свои особые ряды миграции, особые величины k_x, определяемые как биоклиматическими, так и геолого-геоморфологическими условиями выветривания. Установление таких рядов для всего многообразия условий выветривания является задачей дальнейших исследований.

Именно такой подход, как нам кажется, позволит ближе подойти к процессам образования осадочных полезных ископаемых, к разработке общей теории геохимических методов поисков полезных ископаемых.

Институт геологических наук
Академии наук СССР

Поступило
21 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. В. Данилова, Метод определения малых количеств фтора и применение его для геохимических исследований, Диссертация, ИГН АН СССР, 1954. [2] Д. П. Малюга, Тр. Биогеохим. лабор. АН СССР, 8 (1946). [3] А. И. Перельман, Вопросы географии, № 33 (1953). [4] Б. Б. Полынов, Кора выветривания, 1934. [5] Б. Б. Полынов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1944). [6] Л. С. Селиванов, Тр. Биогеохим. лабор. АН СССР, 8 (1946).