

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВОДНОЙ МИГРАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ: МЕДИ, ЦИНКА, МАРГАНЦА, КОБАЛЬТА, БОРА И МОЛИБДЕНА В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

Вода представляет собой сложную динамичную систему, находящуюся в тесной связи с окружающей средой. В природных водах содержатся почти все элементы периодической системы Менделеева.

Источниками поступления химических элементов в поверхностные воды являются горные породы, почвы и почвенные воды. Концентрация каждого элемента в воде определяется его химическими свойствами, растворимостью его соединений, способностью образовывать комплексные соединения и коллоидные растворы [1].

Химический состав воды учитывают при всех видах ее использования, таких, как водоснабжение, гидротехническое строительство, орошение, рыбный промысел, рыборазведение.

Содержание химических элементов в природных водах и интенсивность их миграции зависят от физико-географических условий на водосборных площадях. К ним можно отнести: температурный режим территории, количество осадков, характер их распределения, геологические условия, литологический состав почвообразующих пород, водопроницаемость почвогрунтов, почвенно-растительные условия и состав почв.

С интенсивностью миграции химического элемента связано его участие в почвообразовательном процессе. Лучшими миграционными характеристиками, как правило, обладают аниогенные элементы. Они в природе находятся в виде анионов и хорошо растворимых солей. Это, например, молибден и бор. Катиогенные элементы (цинк, медь, марганец и кобальт) мигрируют в виде катионов в составе хорошо растворимых солей, золь, комплексных соединений и солей фульвокислот [2].

Водная миграция микроэлементов наблюдается в почвах при сезонных перемещениях почвенной влаги в вертикальном нисходящем и восходящем направлениях, что вызывает соответствующее перераспределение элементов согласно их геохимической подвижности. При господстве нисходящих токов наиболее подвижные элементы уносятся в более глубокие горизонты почвы и грунтовые воды. Поэтому повышенное содержание некоторых микроэлементов в грунтовых водах часто бывает следствием их вертикальной миграции при промывном режиме.

Такие микроэлементы, как медь, марганец, цинк, кобальт, молибден и бор являются постоянными компонентами природных вод Алтайского края. Их миграционная способность в значительной степени зависит от содержания в почвообразующих породах зон и от климата.

Низкое содержание элементов в почвообразующих хорошо промытых породах гумидных областей, обусловленное постоянной фильтрацией, создает условия для формирования слабоминерализованных поверхностных и грунтовых вод (Бийско-Чумышская возвышенность). Высокие же температуры в аридной зоне края (Кулундинская низменность) способствуют увеличению испарения и капиллярному поднятию к поверхности более минерализованных грунтовых вод, содержащих повышенные количества некоторых микроэлементов. Кроме того, в аридных условиях ускоряется процесс химического выветривания горных пород, сопровождающийся выносом из почвы растворимых солей. Это способствует накоплению некоторых микроэлементов в природных водах.

Геохимия микроэлементов в речных, озерных и грунтовых водах различных зон Алтайского края в настоящее время изучена недостаточно. Не раскрыт вопрос о причинах их концентрации и усиления миграционной способности в природных водах на территориях с различными физико-географическими условиями. Особый интерес представляет собой изучение поведения в системе литосфера – гидросфера наиболее биологически значимых для растений в крае элементов: молибдена и цинка, принимающих активное участие в биогенной миграции.

Содержание биогенных элементов в водах Алтайского края варьирует в широких пределах, г/л: медь – от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $4,0 \cdot 10^{-5}$; цинк – от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $10,0 \cdot 10^{-5}$; марганец – от $1 \cdot 10^{-5}$ до $25 \cdot 10^{-5}$; молибден – от $0,06 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-5}$; кобальт – от $0,05 \cdot 10^{-5}$ до $1,2 \cdot 10^{-5}$ (табл. 1). Эти количества согласуются с содержанием микроэлементов в водах России, где они варьируют, г/л: Cu – от $0,1 \cdot 10^{-5}$ до $47 \cdot 10^{-5}$; Zn – от $0,1 \cdot 10^{-5}$ до $25 \cdot 10^{-5}$; Mn – от $0,1 \cdot 10^{-5}$ до $200 \cdot 10^{-5}$; Mo – от $0,05 \cdot 10^{-5}$ до $1,3 \cdot 10^{-5}$; Co – от $0,004 \cdot 10^{-5}$ до $1,2 \cdot 10^{-5}$ г/л [3].

Большие колебания в содержании микроэлементов в водах края связаны с наличием на его территории нескольких почвенно-климатических зон, для каждой из которых характерны различные климатические условия, гранулометрический и химический состав почв, состав гумуса, находящийся в зависимости от pH почв.

На территориях края с гумидным климатом, где достаточно часто встречаются относительно кислые породы и почвы (Бийско-Чумышская возвышенность) в поверхностных водах, по сравнению с аридной зоной наблюдается увеличение содержания катионогенных элементов меди и цинка. В преобладающих в этой зоне почвах наблюдается также повышенное содержание подвижных форм меди и цинка. На этой территории достаточно широко распространены оподзоленные черноземы и серые лесные почвы, pH которых достигает 5. Почвенные воды этой территории выносятся в реки, озера и океан легкорастворимые соли (хлориды, сульфаты, нитраты). В результате почвы и по-

роды обедняются микроэлементами, что в дальнейшем приводит к обеднению ими природных вод.

На аридных территориях (Кулундинская низменность), где преобладают каштановые почвы и широко распространены солонцы и солончаки, в природных водах концентрируются аниогенные элементы (бор и молибден), что связано с развитием галогенеза и аридностью климата, а также с наличием щелочной обстановки в почве.

Следует заметить, что сами по себе данные о содержании микроэлементов в природных водах Алтайского края мало говорят об их миграционной способности. Для лучшего понимания роли воды в процессах миграции элементов иногда используют коэффициент водной миграции K_x . Сущность этого коэффициента и механизм его расчета описал А.И. Перельман (1975). K_x дает возможность сопоставить состав природных вод и почвообразующих пород данной местности:

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}$$

где K_x – коэффициент водной миграции;
 a – сумма минеральных веществ, растворенных в воде (0,2-1 г/л);

m_x – содержание элементов в воде, г/л;

n_x – содержание элементов в почвообразующих породах, %.

Благодаря этим коэффициентам, А.И. Перельман (1975) получил миграционные ряды, согласно которым очень подвижными являются мигранты с $K_x = n \cdot 10 - n \cdot 100$, легкоподвижными – с $K_x = n - n \cdot 10$ ($n < 2$); подвижными – с $K_x = 0,1n - n(5)$; слабоподвижными – с $K_x = 0,0n$ и менее [4].

Мы рассчитали пределы колебаний K_x микроэлементов для отдельных зон Алтайского края (табл. 1). Было установлено, что согласно величинам K_x в условиях края молибден всегда очень подвижный, медь, цинк и бор могут быть и легкоподвижными и подвижными, кобальт – подвижным, марганец – слабоподвижным.

Наблюдения показали, что коэффициенты водной миграции K_x в водах Алтайского края изменяются: для меди – от 0,3 до 2,0; марганца – от 0,05 до

0,7; цинка – от 0,3 до 8,0; кобальта – от 0,05 до 0,5; бора – от 0,6 до 28; молибдена – от 2,5 до 6,6. Преобладание максимальных K_x над минимальными достигает у анионогенных элементов 46,7 раз (В), у катионогенных – 26,7 раз (Zn).

По минимальным K_x элементы расположились в ряд: $Mo > B > Cu, Zn > Mn > Co$, а по максимальным K_x – $B > Zn > Mo > Cu > Mn > Co$.

В таблице 2 представлены данные о химическом составе природных вод, расположенных в различных физико-географических условиях зон Алтайского края, и данные о коэффициентах водной миграции.

Исходя из данных таблицы 2 на территории Кулундинской низменности по m_{cp} элементы расположились в ряд: $B > Mn > Zn > Mo > Cu, Co$. На территории Приобского плато ряд изменяется в пользу меди:

$B > Mn > Zn > Cu > Mo > Co$, а на территории Бийско-Чумышской возвышенности – в пользу цинка: $Zn > B > Mn > Cu > Mo, Co$. На территории Бийско-Чумышской возвышенности относительно Кулундинской низменности и Приобского плато в природных водах наблюдались увеличение среднего содержания меди и цинка и уменьшение содержания марганца, бора и молибдена.

Этот факт можно объяснить с точки зрения различий pH природных вод и почв в этих зонах. Повышение кислотности почвенных и других природных вод на территории Бийско-Чумышской возвышенности привело к увеличению содержания в них подвижных соединений меди и особенно цинка. Это происходило на фоне увеличения содержания в почве фульвокислот, которые, соединяясь с катионогенными элементами, делают их более подвижными.

Таблица 1

Пределы колебания содержания микроэлементов в природных водах Алтайского края, г/л · 10⁻⁵

Показатели	Микроэлементы					
	Си	Мп	Zn	Со	В	Мо
$m, \text{ г/л}$	0,5-2,0	1-25	0,5-20	0,05-0,3	2-70	0,5-20
m_{max}/m_{min}	4	25	40	6	35	20
K_{min}	0,3	0,05	0,3	0,05	0,6	2,5
K_{max}	2,0	0,7	8,0	0,5	28	6,6
K_{max}/K_{min}	6,7	14,0	26,7	10	46,7	26,4

Таблица 2

Содержание микроэлементов в природных водах зон Алтайского края ($m \cdot \text{Ш}^5, \text{ г/л}$) и коэффициенты водной миграции (K_x)

Показатели	Микроэлементы					
	Си	Мп	Zn	Со	В	Мо
Кулундинская низменность						
$m \cdot 10^{-5}, \text{ г/л}$	0,5-1,0	1-25	0,5-3,0	0,05-0,10	50-70	1-2
$m \cdot 10^{-5}$	0,7	14	1,7	0,7	60	1,5
$p \cdot 10^{-3}, \%$	1,8	70	3,0	1,0	5,0	0,06
K_x	0,6-1,1	0,05-0,070	0,3-2,0	0,3-2	20-28	33-66
Приобское плато						
$m \cdot 10^{-5}, \text{ г/л}$	0,5-1,0	3-10	1,03-101,0	0,05-0,30	10-20	0,00,05
$m \cdot 10^{-5}$	0,7	7	5,0	0,2	15	0,3
$p \cdot 10^{-3}, \%$	3,7	80	3,3	1,2	7	0,06
K_x	0,3-0,6	0,08-0,30	0,6-6,0	0,1-0,5	0,6-6,0	3,3-14,3
Бийско-Чумышская возвышенность						
$m \cdot 10^{-5}, \text{ г/л}$	0,5-2,0	2-3	100,1-0	0,1-0,3	2-10	0,1-0,3
$m \cdot 10^{-5}$	1,2	2,5	15	0,2	6	0,2
$p \cdot 10^{-3}, \%$	2,0	85	5	1,2	7,0	0,08
K_x	0,5-2,0	0,05-0,07	0,4-8,0	0,2-0,5	0,6-3,0	0,2-0,5
K_{min}	0,05	0,05	0,3	0,05	0,5	2,2

Отсутствие влияния этого фактора на мобильность марганца и кобальта в данной зоне можно объяснить низкой их биогенностью по сравнению с медью и особенно цинком. В этой зоне элементы по биогенности и коэффициентам биологического поглощения располагаются в ряд: $Zn > Mo > Cu > Mn$, $V > Co$, который говорит о том, что увеличение мобильности катионов за счет биогенного фактора, связанного с гумусом и фульвокислотами, может касаться в значительной мере только цинка.

Повышение содержания в водах Бийско-Чумышской возвышенности цинка было сопряжено с увеличением его коэффициента водной миграции K_x . Данные о коэффициентах водной миграции K_x на различных территориях Алтайского края представлены в таблице 2. Исходя из максимальных значений K_x на территории Кулундинской низменности элементы выстраиваются в ряд: $Mo > V$, Cu , $Zn > Co$, Mn . То есть в этой зоне молибден и бор обладают наибольшей миграционной силой, а кобальт и марганец — наименьшей. На территории Приобского плато исходя из максимальных значений K_x элементы располагаются в ряд: $Mo > V > Zn > Cu > Co > Mn$. Этот ряд аналогичен ряду элементов на территории Кулундинской низменности. На территории Бийско-Чумышской возвышенности этот ряд изменяется в пользу цинка: $Zn > Mo > V > Cu > Co > Mn$. То есть цинк выходит на первое место, так как водная миграция его здесь сопряжена с биогенной миграцией. Во всех случаях кобальт и марганец по миграционной силе стоят на последнем месте. Максимальные величины K_x наблюдались по меди и цинку на территории Бийско-Чумышской возвышенности. Это связано с тем, что здесь благодаря гумидности климата больше предпосылок для биогенного накопления их в почве и для увеличения их подвижности в связи с понижением pH. Снижение миграционной способности бора и молибдена в этой зоне можно объяснить их химической природой и способностью адсорбиро-

ваться в виде анионов на положительно заряженных коллоидах почв этой зоны. На территории Кулундинской низменности коэффициенты водной миграции молибдена и бора увеличиваются, что связано с усилением их подвижности в щелочной среде и увеличением степени минерализации воды.

Выводы

Таким образом, на всех территориях Алтайского края катионогенные элементы (марганец и кобальт) обладают наименьшими коэффициентами водной миграции, что сопряжено с низкой подвижностью в почвах их соединений. Наиболее высокими коэффициентами водной миграции из анионогенных элементов обладают бор и молибден, а из катионогенных на территории гумидной зоны (Бийско-Чумышская возвышенность) — цинк.

Из этого следует, что анионогенные элементы (бор и молибден) могут быть факторами загрязнения природных вод на территории Кулундинской низменности, а катионогенный элемент (цинк) — на территории Бийско-Чумышской возвышенности.

Библиографический список

1. Онегина Л.К. Микроэлементы в природных водах и донных отложениях озер Карелии / Л.К. Онегина, М.А. Тойка // Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов: сб. Петрозаводск, 1976. С. 86-155.
2. Черняева Л.Е. Гидрохимия озер / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, М.Н. Еремеева. Л., 1977. 336 с.
3. Спицына С.Ф. Содержание микроэлементов в природных водах Алтайского края / С.Ф. Спицына // Экологические проблемы использования водных и земельных ресурсов на юге Западной Сибири. Барнаул: Изд-во АГАУ, 1997. С. 109-113.
4. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. М., 1966. С. 73-107.

