

УДК 550.4



*Птицын Алексей
Борисович
Aleksey Ptitsyn*



*Гребеницкова Валентина
Ивановна
Valentina Grebenshikova*



*Замана Леонид
Васильевич
Leonid Zamana*



*Итигилова Мыдыгма
Цыбекмитовна
Mydygma Itigilova*



*Матюгина Евгения
Борисовна
Evgeniya Matyugina*



*Смирнова Ольга
Константиновна
Olga Smirnova*



*Юргенсон Георгий
Александрович
Georgiy Urgenson*

ПОДВИЖНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДНЫХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

MOBILITY OF CHEMICAL ELEMENTS IN AQUATIC AND TERRESTRIAL ECOSYSTEMS

Проведены многолетние исследования природных и природно-техногенных экосистем Забайкальского края, республики Бурятия, Иркутской области.

Выявлены закономерности поведения химических элементов в системах «почва-растение», распределение элементов по трофическим цепям пресноводных гидробионтов, а также роль микроорганизмов в некоторых геохимических процессах

The longterm studies of natural, natural and man-made ecosystems of Transbaikalian Territory, the Republic of Buryatia, the Irkutsk region are conducted.

The patterns of chemical elements' behaviour in the «soilplant» system are revealed, the distribution of elements in freshwater aquatic food chain, and the role of microorganisms in some geochemical processes are defined

Ключевые слова: экосистемы, химические элементы, подвижность, геотехногенез, биогеохимия

Key words: ecosystems, chemical elements, mobility, geotechnogenesis, biogeochemistry

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты РФФИ-Байкал_а № 05-05-97224, РФФИ_а № 06-05-64365, РФФИ-ГФЕН_а № 07-05-9210, а также интегрированного проекта СО РАН № 122

Подвижность или инертность химических элементов в той или иной физико-химической обстановке определяется сочетанием внутренних и внешних факторов. К внутренним факторам относятся свойства самого элемента: физические, химические, биологические, а к внешним – параметры окружающей среды. Распределение химических элементов в Земле в целом и в отдельных геосистемах определяется сочетанием физических, химических и биологических, а в современную эпоху еще и антропогенных процессов.

Поведение химических элементов в системе «живой организм – среда его обитания» в значительной степени определяется как способностью отдельного организма нормально развиваться в данных условиях, так и жизнеспособностью, и устойчивостью конкретной экосистемы в целом. В настоящее время фактором, существенно осложняющим сложившиеся в биосфере динамические равновесия, является геотехногенез. Поэтому весьма актуальными являются исследования биогеохимических процессов и закономерностей поведения химических элементов в геотехногенных ландшафтах.

Объекты и методы исследований. Для исследования отбирались пробы горных пород, донных осадков озер и водохранилищ, почв, продуктов геотехногенеза из хвостохранилищ различных ГОКов, природных и техногенных вод, различных органов растений, растительных и животных гидробионтов Забайкальского края, Республики Бурятия, Иркутской области. Всего отобрано и проанализировано более 15 000 проб. Для всех проб выполнялся хими-

ческий анализ (на 20...25 элементов) методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS «Plasma Quad 2» и ICP MS Element-2) и атомной абсорбции (SOLAAR 6M и AAS-30) в Аккредитованных аналитических центрах. В водных пробах определяли формы нахождения химических элементов. Долю и виды подвижных форм элементов в почвах определяли методами последовательной химической экстракции.

По общепринятым методикам [4] отбирали и обрабатывали пробы на микробиологический анализ. Выделение чистых культур проводили на селективных средах [1].

Результаты. В результате проведенных исследований выявлены следующие общие закономерности.

Подвижность химических элементов в системе «почва-растение» определяется долей и составом их подвижных форм. Доля подвижных форм для разных элементов может варьироваться в довольно широких пределах (табл. 1).

Бактериальные биопрепараты – азотобактерин, фосфобактерин и кремнебактерин, основанные на ризобактериях *Azotobacter* и *Bacillus*, способны приводить к увеличению подвижности элементов питания растений (K, P, Ca, Mg) и тяжелых металлов (Fe, Ni, Cr, Zn, Cd, Pb, Cu) в системе «почва-растение» при сравнительно невысоких содержаниях химических элементов в почве.

Распределение тяжелых металлов в вертикальных разрезах почв и техногенных песков заметно различаются. Так, в почвах тяжелые металлы накапливаются преимущественно в поверхностном слое. Значительная их часть депонируется в гумусе (на сорбционном барьере). В техногенных песках содержание тяжелых металлов растет при переходе к более глубоким горизонтам, что мы связываем с увеличением в этом направлении доли мелких частиц.

Таблица 1

Валовые содержания и доля подвижных форм элементов в отходах обогащения молибденовых руд Давендинского месторождения (Забайкалье)

Элемент	Валовое содержание, масс. %	Доля подвижных форм, %
Cu	0,004...0,032	20,9
Zn	0,004...0,38	21,6
Pb	0,0009...0,13	н/о
Fe	1,9...5,1	До 30
Mn	0,017...0,17	До 38
As	0,0018...0,045	18,5
Mo	0,00054...0,028	12,6

Коэффициент биологического поглощения растениями тяжелых металлов (свинца, цинка, молибдена, вольфрама, мышьяка и др.), как правило, не зависит от их валового содержания в почвах, а определяется внутренними и внешними факторами миграции элементов [7], типом ландшафта, видом растения. Так, например, максимальное содержание Mn наблюдалось нами в листьях рододендрона даурского, а минимальное – в полыни Гмелина. В деревьях ряд концентрации выглядит следующим образом, мг/кг: хвоя лиственницы даурской (398,4) – хвоя сосны обыкновенной (446,3) – листья березы плосколистной (591,3). Минимальное содержание цинка наблюдается в хвое лиственницы при максимуме в листьях березы (62,6 мг/кг). В хвое сосны обыкновенной цинка больше (39,4 мг/кг), чем в листьях

рододендрона и полыни (23,9 и 25,5 мг/кг соответственно).

Распределение тяжелых металлов по органам растения подчиняется следующей закономерности: наибольшие содержания характерны для корней и листьев, наименьшие – для цветов, семян и стволов (рис. 1). Это позволяет предположить существование в корнях растения биогеохимического барьера. Ствол выполняет транзитную функцию в питании растения, поэтому не является депонентом. Важнейшая задача растительного организма – не допустить вредные вещества в органы размножения – цветы и плоды. Здесь дополнительную защитную функцию выполняют листья (хвоя), оттягивающие на себя токсикианты с тем, чтобы потом сбросить их во время листопада. Эта зависимость отмечена в большинстве случаев, но не во всех.

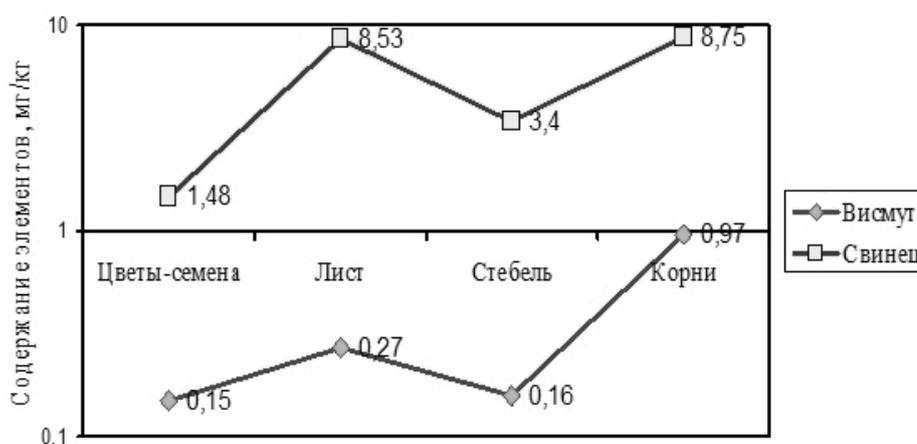


Рис. 1. Содержание свинца и висмута в органах полыни Гмелина (Забайкалье)

Токсичные элементы, накопленные травянистыми растениями на пастбищах (и сенокосах) включаются в трофические цепи, создавая угрозу наземным животным и человеку.

Для водоплавающих животных (например, байкальской нерпы) максимальные концентрации токсичных элементов (наиболее детально исследовалось распределение Hg) отмечены в органах выделения – печени и почках, а также в волосяном покрове. Волосяной покров байкальской нерпы, как и других млекопитающих, играет значительную роль в накоплении и последующем ежегодном удалении ртути вместе со старым волосом во время линьки. Печень и почки, выполняя функцию детекторов, фильтров и трансформаторов токсических веществ, несут основную ответственность за контроль уровня накопления ртути в организме нерпы (рис. 2, 2 а) [5]. Таким образом, волосы животных (и человека также) являются хорошим индикатором качества окружающей среды. Например, анализ волос жителей ряда городов и поселков Иркутской области показал повышенные содержания Cd, Pb, As, Hg, Tl, U, значительно превышающие фон, а часто и установленные физиологические нормативные значения, что свидетельствует о большой техногенной

нагрузке на окружающую среду данной территории [8].

Для водных экосистем на примере оз. Арахлей (Забайкалье) установлено избирательное накопление тяжелых металлов (Mn, Cu, Fe, Zn, Pb, Ni, Cd, Hg) в разных звеньях трофической цепи (табл. 2). Так, наибольшее количество марганца отмечено в ряске и в кладофоре; меди – в фитопланктоне, зообентосе и в донных илах; железа, цинка, свинца, никеля – в донных илах; кадмия и ртути – в рыбе (окунь) и в донных илах. В воде из данных элементов максимальное содержание имели железо и медь.

Таким образом, марганец и медь преимущественно накапливаются в растительных организмах, кадмий и ртуть – в животных. Эти данные согласуются с результатами изучения бионакопления химических элементов байкальским тюленем [5] (рис. 2; 2, а).

Накопление токсичных элементов в донных илах водохранилищ нельзя рассматривать как процесс их выведения из водной экосистемы. Так, в Братском водохранилище, в донных осадках которого накопилось значительное количество техногенной ртути, несмотря на низкие концентрации ртути в воде в последние годы, установлены ее высокие содержания в бентосных организмах и рыбах.

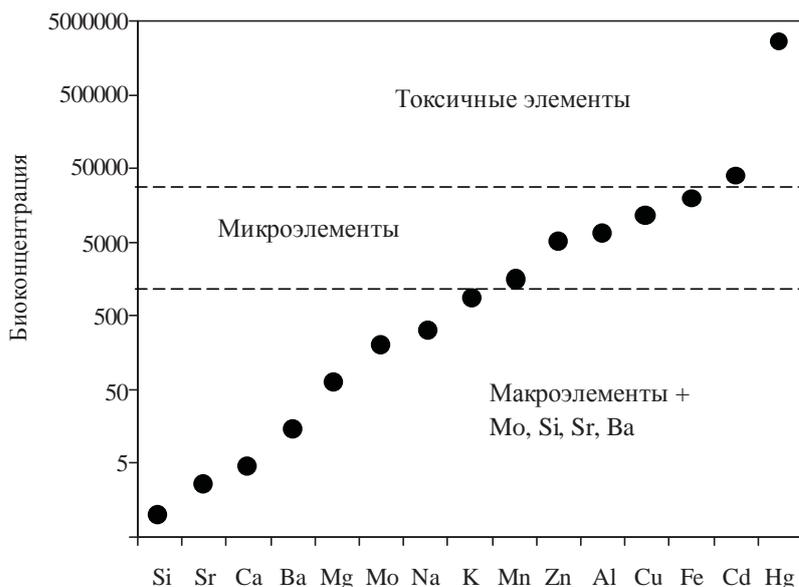


Рис. 2. Биоконцентрация химических элементов в печени байкальских нерп

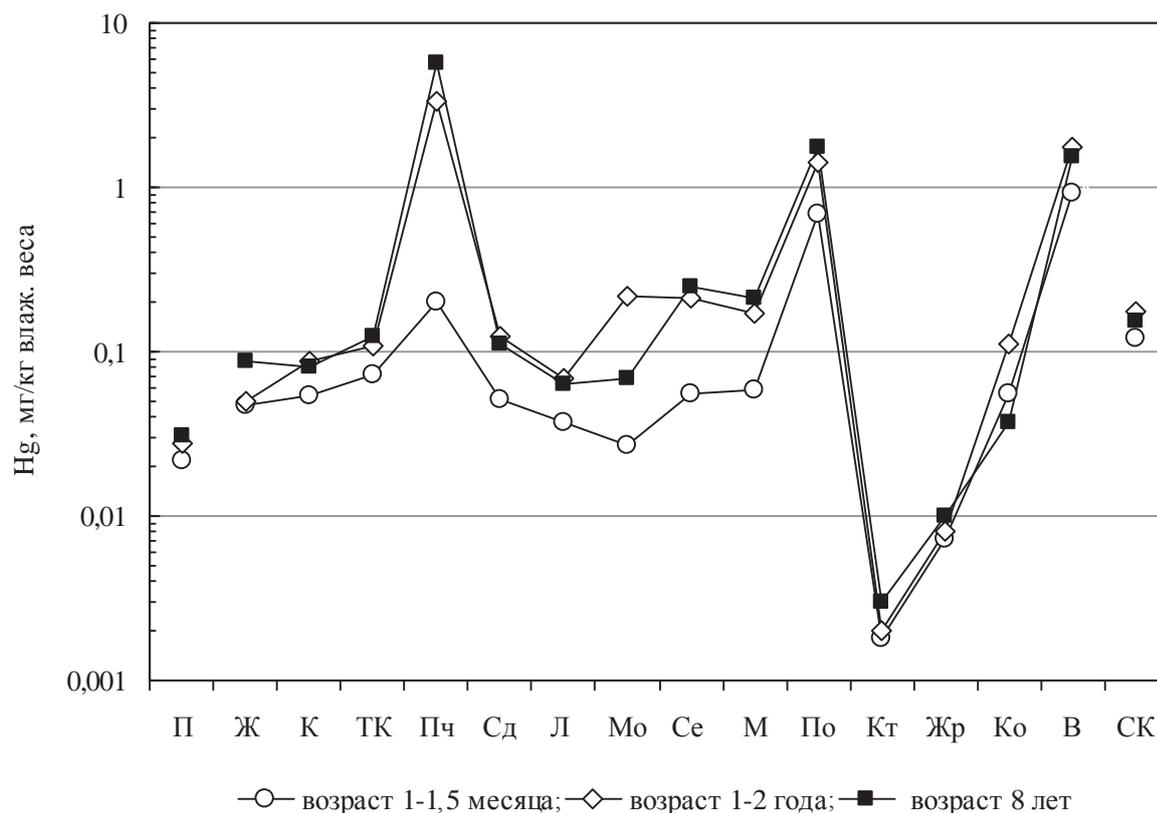


Рис. 2, а. Средняя концентрация общей ртути в различных органах и тканях щенков, неполовозрелых и взрослых байкальских нерп: П – пища (щенки – молоко; 1-8-летние – рыба); Ж – желудок; К – тонкий отдел кишечника; ТК – толстый отдел кишечника; Пч – печень; Сд – сердце; Л – легкие; Мо – мозг; Се – селезенка; М – мышечная ткань; По – почки; Кт – костная ткань; Жр – подкожный жир; Ко – кожа; В – остевые волосы; СК – содержимое кишечника (фекалии)

Таблица 2

Содержание элементов в гидробионтах и донных илах оз. Арахлей (Забайкалье), мг/кг

Объекты	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Роголистник	3644,69	973,28	< 0,001	2,20	15,75	0,06	0,01	0,80
Хара	1639,33	1764,37	0,91	4,22	15,89	0,02	0,02	1,42
Ряска (среднее)	9887,22	2944,44	< 0,001	3,18	23,75	0,06	0,01	2,43
Рдест длиннейший	477,34	599,38	< 0,001	2,43	28,22	0,02	0,00	1,64
Стратоносток	440,28	4596,25	1,12	6,67	50,48	0,09	0,01	2,76
Кладофора	5887,57	2442,49	1,40	13,51	49,39	0,09	0,01	2,15
Фитопланктон	750,88	670,18	2,90	34,67	83,10	0,05	0,01	4,40
Осадок в кладофоре	5289,87	8435,44	2,22	6,50	98,01	0,06	0,01	5,73
Зоопланктон (среднее)	250,14	803,68	< 0,001	6,49	66,55	0,18	< 0,001	2,48
Зообентос (среднее)	329,35	2765,63	< 0,001	24,90	77,23	0,24	< 0,001	1,23
Окунь (среднее)	18,02	306,03	< 0,001	5,69	72,22	0,65	0,04	0,15
Широколобка	71,87	< 0,001	< 0,001	4,42	75,71	0,43	0,02	0,09
Плотва	20,74	604,61	< 0,001	3,86	149,15	0,40	0,02	0,15
Донные илы 0...5 см	1391,72	61468,33	29,82	31,44	90,71	1,05	0,04	109,73
Донные илы 5...10 см	1426,14	60839,23	36,34	32,02	86,30	0,51	0,04	47,08

Впервые установлены существенные различия в распределении, передаче и накоплении стабильных изотопов ртути ^{202}Hg и ^{199}Hg в пищевых цепях гидробионтов оз. Байкал и Братского водохранилища. Данные изотопного анализа свидетельствуют, что источником ртути в рыбах Братского водохранилища являются донные осадки. Распределение стабильных изотопов в пищевых цепях обоих водоемов различается в зависимости от диеты, трофического уровня и концентрации ртути в особи [2].

Хемолитотрофные бактерии, использующие серу и железо в качестве доноров электронов, вносят существенный вклад в

окислительные процессы и перевод металлов в природные воды, а одним из механизмов осаждения металлов из них может служить микробное восстановление сульфатов.

Основные особенности геохимических процессов, протекающих в зонах окисления сульфидсодержащих рудных объектов и отходах переработки руд, определяются жизнедеятельностью автотрофных тионовых бактерий, окисляющих сульфидные минералы. Установлена тесная взаимосвязь видового состава бактериального сообщества с физико-химическими параметрами вод техногенных потоков рассеяния (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав дренажных вод вольфрамовых месторождений Кукульбейского рудного района (Восточное Забайкалье), мг/кг

Номера проб	T, C	Eh, mv	pH	SO_4^{2-}	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
Антонова гора									
1	0,8	497	2,82	137,8	0,70	0,59	4,91	1,71	0,250
2	0,9	506	3,12	74,1	0,36	0,32	1,90	1,12	0,123
3	2,8	505	3,33	41,0	0,31	0,19	0,16	0,56	0,095
4	0,0	490	2,65	613,1	6,04	2,79	32,7	10,7	0,634
5	3,3	530	3,05	75,8	0,62	0,29	1,92	0,85	0,130
6	4,9	424	4,20	34,1	0,20	0,12	0,24	0,26	0,050
Букука									
1	3,1	311	6,52	192,0	0,50	0,72	0,21	1,75	0,075
2	4,1	325	6,53	33,8	1,44	0,01	0,18	0,28	0,118
3	6,5	275	6,73	147,2	0,93	0,61	0,10	1,68	0,064
4	6,4	499	3,55	168,0	0,38	0,10	1,26	1,21	0,082
5	4,6	433	5,18	190,2	0,36	0,29	0,06	1,74	0,098
6	6,7	292	6,64	152,2	0,40	0,33	0,60	1,64	0,090
7	7,6	550	3,18	375,4	4,79	2,55	2,05	14,5	0,643
8	8,6	558	2,87	638,0	7,82	3,64	6,06	17,6	3,825
9	11,1	536	3,27	294,7	3,33	1,15	0,55	7,14	1,938
10	9,3	465	3,69	272,0	2,69	0,97	4,92	5,93	0,552
11	9,9	465	3,70	289,9	1,82	1,03	6,04	5,8	0,413
Белуха									
1	17,2	477	6,75	244,1	0,21	0,66	0,09	1,32	0,100
2	17,1	504	5,63	171,3	0,38	0,06	0,53	0,90	0,053
3	23,0	525	4,66	144,9	0,09	0,08	0,10	0,76	0,106
4	20,8	554	7,07	135,6	0,13	0,05	0,99	0,42	0,059
5	21,3	473	3,63	199,8	0,70	0,29	0,07	1,74	0,051
6	18,9	433	6,26	65,4	0,08	0,01	0,05	0,17	0,033
7	17,2	477	7,54	230,6	0,06	0,30	0,25	0,82	0,043

* Анализы выполнены С.В. Борзенко, Т.Г. Смирновой, Т.Е. Хвостовой

Наиболее активно процессы окисления сульфидов под воздействием тионовых бактерий протекают в хвостохранилищах. В дренирующих их водах отмечены ацидофильные тионовые бактерии, растущие на средах Сильвермана-Лундгрена, Летена и Ваксмана (табл. 4). С участием бактерий *A. ferrooxidans*, *A. thiooxidans* окисление происходит в водах с кислой реакцией ($pH < 4,0$). В близонейтральной среде создаются оптимальные условия для жизнедея-

тельности тионовых бактерий вида *Th. thioparus*, численность которых в слабокислых и околонейтральных водах на выходе на один-два порядка больше, чем других видов. Эксперимент с выделенными культурами *A. ferrooxidans* показал, что окисление энергетического субстрата протекает бактериально-химическим путем, о чем свидетельствовало более интенсивное, чем в стерильных условиях, увеличение кислотности и окислительного потенциала раствора.

Таблица 4

Количество жизнеспособных тионовых бактерий в водных пробах вольфрамовых месторождений, кл/мл. Номера проб по каждому объекту соответствуют табл. 3

Номера проб	<i>A. ferrooxidans</i> , <i>A. thiooxidans</i>			<i>Th. thioparus</i> , <i>Th. intermedius</i> , <i>Th. denitrificans</i>		
	Антонова гора	Букука	Белуха	Антонов. гора	Букука	Белуха
1	$0,452 \times 10^6$	—	—	—	$1,350 \times 10^2$	$0,080 \times 10^2$
2	$0,190 \times 10^6$	—	—	—	$1,200 \times 10^2$	$0,540 \times 10^2$
3	$0,016 \times 10^6$	—	—	—	$1,002 \times 10^2$	$0,199 \times 10^2$
4	$0,192 \times 10^6$	$0,127 \times 10^6$	—	—	—	$0,069 \times 10^2$
5	$0,024 \times 10^6$	—	$0,05 \times 10^6$	—	$0,97 \times 10^2$	—
6	$0,022 \times 10^6$	—	—	—	$1,35 \times 10^2$	$0,250 \times 10^2$
7	—	$0,205 \times 10^6$	—	—	—	$0,250 \times 10^2$
8	—	$0,562 \times 10^6$	—	—	—	—
9	—	$0,300 \times 10^6$	—	—	—	—
10	—	$0,495 \times 10^6$	—	—	—	—
11	—	$0,598 \times 10^6$	—	—	—	—

«—» не обнаружено.

Характерные черты физико-химического и микроэлементного состава вод, наряду с геологическими особенностями рельефа и происхождением пресноводной экосистемы, в целом, формируют факторы, обуславливающие отдельные характеристики и специфику функционирования микробных сообществ. В каждом конкретном пресноводном местообитании микроорганизмы формируют устойчивую систему, функционирующую как единый организм и выполняющую комплекс биогеохимических реакций, позволяющий экосистеме в целом существовать стабильно и поддерживать баланс физико-химического и микроэлементного состава вод. Очевидно, что знание не только доминирующих гено- и флотипов или культивируемых микроорганизмов, но и минорных форм позволяет

более корректно охарактеризовать структуру и состав микробных сообществ. Сопоставление конкретных биотических и абиотических факторов и генетического разнообразия микробных сообществ позволит выявить корреляционные связи и особенности функционирования пресноводных экосистем.

Комплексный анализ микробных сообществ глубоководных байкальских вод, холодных и ультрапресных вод высокогорных озер Восточных Саян и родников палеовулкана Алханай (Забайкалье) подтвердил наши предположения о большом разнообразии пресноводных олиготрофных микробных сообществ, как по представленности различных крупных таксонов, так и по разнообразию генотипов отдельных таксономических групп и родов микроорганизмов.

Заключение. Распределение химических элементов по различным органам растения или животного определяется как свойствами конкретного элемента и его содержанием в среде обитания, так и процессами жизнедеятельности, протекающими в организме.

Для водных экосистем отмечена четкая корреляция содержания тяжелых металлов в гидробионтах и в среде обитания. Для наземных растений подобная корреляция, как правило, отсутствует. Это обусловлено тем, что в воде химические элементы находятся в подвижном состоянии, а в почве — не всегда. Поэтому для наземных экосистем важно знать долю подвижных форм химических элементов в среде обитания. Из полученных данных следует еще один важный вывод: содержание химических элементов в наземных растениях не может рассматриваться как надежный индикатор геохимической специализации территории.

Распределение химических элементов по различным звеньям трофической цепи гидробионтов имеет сложный характер, особенности которого (например, разделение изотопов) еще требуют исследования, однако можно утверждать, что одни элементы преимущественно накапливаются в растительных организмах, а другие — в животных, хотя причины такой дифференциации пока не ясны.

Роль микробиологических процессов в биогеохимическом поведении химических элементов велика и разнообразна. Так, микроорганизмы не только приспосабливаются к конкретной геохимической обстановке, но и трансформируют ее, формируя устойчивую биогеохимическую систему. Большое разнообразие микробных сообществ, их высокая активность и толерантность в широком диапазоне условий существования позволяют считать их важнейшим геохимическим фактором зоны гипергенеза.

Поведение химических элементов в биогеохимической системе «среда обитания — живые организмы» определяется свойствами самого элемента (внутренние факторы миграции), видом и особенностями организма (например, способностью избирательно накапливать те или иные элементы, наличием биохимических барьеров и т.д.) и характеристиками среды (физико-химическими, микробиологическими и другими). Отдельное внимание следует обратить на специфику супрамолекулярных систем, в частности биопленок [3], и на особенности их геохимического поведения [6].

Таким образом, устойчивость и трансформация экосистем во времени и пространстве определяются взаимосвязанной системой биогеохимических процессов.

Литература

1. Handbook of media for environmental microbiology / Ronald M. Atlas.- 2nd ed. Boca Raton, FL: Taylor and Frans Group, 2005. 673 p.
2. Vincent Perrot, Vladimir N. Eпов, Mikhail V. Pastukhov, Valentina I. Grebenschikova, Cyril Zouiten, Jeroen E. Sonke, Søren Husted, Olivier F.X. Donard and David Amouroux. Tracing Sources and Bioaccumulation of Mercury in Fish of Lake Baikal – Angara River Using Hg Isotopic Composition // Environ. Sci. Technol, 2010. V. 44. No 21. P. 8030-8037.
3. Лен Жан-Мари. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Пер. с англ. Новосибирск: Наука, 1998. 333 с.
4. Практикум по микробиологии; А.И. Нетрусова [и др.]. М.: Академия, 2005. 603 с.

References

1. Handbook of media for environmental microbiology [Handbook of media for environmental microbiology]. Ronald M. Atlas. Boca Raton, FL: Taylor and Frans Group, 2005. 673 p.
2. Vincent Perrot, Vladimir N. Eпов, Mikhail V. Pastukhov, Valentina I. Grebenschikova, Cyril Zouiten, Jeroen E. Sonke, Søren Husted, Olivier F.X. Donard and David Amouroux. *Environ. Sci. Technol* (Environ. Sci. Technol), 2010. V. 44, no 21. P. 8030-8037.
3. Len Jan-Mari. *Supramolekulyarnaya himiya. Kontseptsii i perspektivi* [Supramolecular chemistry. Concepts and perspectives]. Novosibirsk: Science. 1998. 333 p.
4. *Praktikum po mikrobiologii* [Practical work on microbiology]. A.I. Netrusov [et al.]. Moscow: Academy, 2005. 603 p.

5. Пастухов М.В., Ciesielski T., Эпов В.Н., Гребенщикова В.И., Алиева В.И. Биоаккумуляция ртути в байкальской нерпе (*Phoca sibirica*) и ее трофической цепи // Материалы Межд. симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Москва 7-9 сентября). М.: Изд-во Типографии Россельхозакадемии, 2010. С. 304-309.

6. Птицын А.Б. Геохимические аспекты супрамолекулярной химии // Геохимия. 2006. № 11. С. 1240-1242.

7. Птицын А.Б. Теоретическая геохимия / Отв. ред. И.Д. Рябчиков. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. 180 с.

8. Скларова О.А. Андрулайтис Л.Д. Белоголова Г.А. Микроэлементный состав волос – биоиндикатор антропогенной нагрузки территории (на примере промышленных районов Иркутской области) // Геоэкологические проблемы современности: Доклады 3-й Международной конференции / Под ред. И.А. Карловича. Владимир: ВГУ, 2010. С. 271-273.

5. Pastukhov M.V., Ciesielski T., Epov V.N., Grebenshikova V.I., Alieva V.I. *Materiali Mezhdunarodnogo Simpoziuma «Rtut v biosphere: ekologo-geochimicheskie aspekti»* Materials Int. Symposium on „Mercury in the biosphere: ecological and geochemical aspects” (Moscow September 7-9). Moscow: Printing house RAAS, 2010, pp. 304-309.

6. Ptitsyn A.B. *Geochimiya* (Geochemistry) 2006, no 11. P. 1240-1242.

7. Ptitsyn A.B. *Teoreticheskaya geohimiya* [Theoretical geochemistry]. Ed. Ed., ID Grouse. Novosibirsk Academic Publishing House “Geo”, 2006. 180 p.

8. Sklyarova O.A., AndruLAYtis L.D., Belogolova G.A. *Geologicheskie problemy sovremennosti, doklady 3-i Mezhdunarodnoy konpherentsii* (Geoenvironmental problems of modernity: Reports 3rd International Conference). Vladimir: VGGU, 2010. P. 271-273.

Коротко об авторах

Briefly about the authors

Птицын А.Б., д-р геол.-минерал. наук, профессор, директор, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, профессор каф. экологии и экологического образования, Забайкальский государственный университет, член редколлегии журнала «Вестник ЗабГУ», г. Чита, Россия
aleksei_ptitsyn@mail.ru

A. Ptitsyn, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, director of Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Научные интересы: геохимия, геоэкология, криогенез

Scientific interests: geochemistry, geoecology, cryology

Гребенщикова В.И., д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия
vgreb@igc.irk.ru

V. Grebenshikova, doctor of geological and mineralogical sciences, Federal State Budgetary Institution of Science A.P. Vinogradov, Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Научные интересы: биогеохимия, экология

Scientific interests: biogeochemistry, ecology

Замана Л.В., канд. геол.-минерал. наук, зав. лабораторией, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия
l.v.zamana@mail.ru

L. Zamana, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Научные интересы: гидрогеохимия, геоэкология

Scientific interests: hydrogeochemistry, geoecology

Итигилова М.Ц., зав. лабораторией, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия

M. Itigilova, head of the laboratory, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

imts49@mail.ru

Научные интересы: гидробиология, экология

Scientific interests: hydrobiology, ecology

Матюгина Е.Б., канд. биол. наук, ученый секретарь, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия

E. Matyugina, candidate of biological sciences, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

inrec_us@mail.ru

Научные интересы: микробиология, экология

Scientific interests: ecology of microorganisms

Смирнова О.К., канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник, Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

O. Smirnova, candidate of geological and mineralogical sciences, Geological Institute of SB RAS, Ulan-Ude, Russia

meta@gin.bsnet.ru

Научные интересы: геология, геохимия, геоэкология

Scientific interests: geology, geochemistry, geocology

Юргенсон Г.А., д-р геол.-минерал. наук, зав. лабораторией, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, профессор каф. химии, Забайкальский государственный университет, член редколлегии журнала «Вестник ЗабГУ», г. Чита, Россия

G. Urgenson, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

yurgga@mail.ru

Научные интересы: геология, минералогия, геохимия, геоэкология

Scientific interests: geology, mineralogy, geochemistry, geocology

