

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ МИГРАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ТРИАДЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ – ЖИВОТНЫЙ ОРГАНИЗМ» В СТЕПНОМ ЛАНДШАФТЕ ЗАПОВЕДНИКА «АРКАИМ»



М.А. ДЕРХО,

*доктор биологических наук, заведующий кафедрой
органической, биологической и физколлоидной химии,*

М.В. ЕЛИСЕЕНКОВА,

*аспирант кафедры органической, биологической и
физколлоидной химии, Уральская ГАВМ*

457100, Челябинская область,
г. Троицк, ул. Гагарина, 13;
Тел. (35163) 2-00-10

Ключевые слова: микроэлементы, миграция, коэффициент биологического поглощения.

получила статус филиала Ильменского государственного заповедника. Ее территорию пересекают небольшие речки, по берегам которых, а также на северных и южных склонах сопкок, на их вершинах в ближайших окрестностях по всему периметру долины в силу различия природных условий образовались разнообразные природные ландшафты. В первую очередь это выражается в ботаническом, энтомологическом, зоологическом и почвенном разнообразии.

Различные пути взаимодействия природы и общества сопровождаются существенными изменениями природной среды, охватившими обширные территории. На фоне естественных изменений природной обстановки становится очевидным, что негативное воздействие, оказываемое хозяйственной деятельностью человека, ведет к нарушению ландшафтов – необходимого условия и естественной основы существования и развития общества [1, 4]. М.В. Черкасова (1987) обращала внимание на то, что человек «неизбежно, закономерно, непрерывно вносит изменения в земную оболочку, будучи неотделим от биосферы».

При росте хозяйственного воздействия исключительное значение приобретает оценка состояния природной среды, степени ее нарушенности в целом или отдельных компонентов в конкретных природных и географических условиях. В этом плане образование заповедника «Аркаим» представляет собой уникальную возможность изучения процесса восстановления природного ландшафта в условиях изъятия его территории из хозяйственной деятельности человека.

Большераганская долина (заповедник «Аркаим»), расположенная на юге Челябинской области, в 1991 году по решению Совета Министров РСФСР

В связи с этим целью нашей работы явилось изучение особенностей сезонной миграции отдельных микроэлементов в степном ландшафте заповедника «Аркаим» в условиях его естественной реабилитации после длительной хозяйственной на-грузки.

***Microcell, migration, factor
of biological absorption.***

Методика исследований

Экспериментальная часть работы была выполнена в 2007-2008 годах на участках степного ландшафта заповедника «Аркаим».

В качестве основных объектов исследования были выбраны гумусовый слой почвы, вегетативная часть растений, печень рыжей полевки *Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780).

Основанием для выбора в качестве животного организма рыжей полевки послужило то, что, во-первых, она обитает на обширных пространствах лесостепной зоны Челябинской области и доминирует в сообществах мышевидных грызунов. Во-вторых, мелких млекопитающих считают индикатором миграции металлов (высокая численность, интенсивный обмен веществ, интенсивное размножение, оседлость и небольшой участок обитания, сравнительно крупные размеры) [3]. Отлов животных и отбор проб почвы и растений проводили в аналогичных точках вдоль реки Большая Караганка, которая проложила свое русло по линии геологического разлома и является границей двух геологических структур: Магнитогорского прогиба и Восточно-Уральского поднятия.

Материалы для исследований отбирали зимой (январь), весной (май), летом (июль) и осенью (октябрь). В них определяли валовое содержание микроэлементов методом атомно-абсорбционного спектрального анализа на ААС-3. Полученные материалы были обработаны статистически на персональном компьютере с использованием программы Excel 2003.

Для количественной оценки содержания микроэлементов в почве

вычисляли кларк концентрации ($K_k = X_{cp} : K$), характеризующий отношение среднего содержания элемента в почве за год (X_{cp}) к условному мировому кларку почв (K). Для оценки интенсивности биологического поглощения микроэлементов печенью млекопитающих из почвы и растений мы рассчитывали коэффициент биологического поглощения (КБП) по формуле: $КБП = N : N_1$, где N – содержание микроэлемента в печени; N_1 – содержание микроэлемента в почве или растениях.

Результаты исследований

За счет прекращения хозяйственной деятельности на территории заповедника, а также в силу ботанического и ландшафтного разнообразия животный мир заповедника отличается необычайной пестротой и многообразием. Местная фауна насчитывает более 35 видов крупных и мелких млекопитающих, которые являются неотъемлемой частью биогеохимических пищевых цепей и участвуют в миграции микроэлементов в триаде почва – растение – животный организм.

Поэтому уровень того или иного микроэлемента в почве влияет на все звенья биогеохимических пищевых цепей и приводит в конечном счете к изменению содержания данного элемента в тканевых депо живых организмов, в т.ч. и рыжей полевки.

На предварительном этапе нашей работы мы установили, что на миграцию микроэлементов в триаде почва – растение – животный организм в аналогичных участках ландшафта на территориях, граничащих с заповедником и используемых в хозяйственной деятельности человеком,

очень сильно влияет сезон года и вид хозяйственной эксплуатации. Нами отмечено, что в почве, растениях и печени рыжей полевки содержится более низкая концентрация меди, кобальта, марганца и более высокая – железа и цинка, чем в зоне степного ландшафта заповедника «Аркаим».

При этом природный ландшафт степной зоны заповедника, формирующийся в последние годы под влиянием только природных факторов и не испытывающий влияние человеческой деятельности, обладает более относительной устойчивостью к изменению микроэлементов в триаде почва – растение – животный организм. Однако миграция металлов тоже зависит от вида микроэлемента и сезона года (табл. 1).

Как показали результаты наших исследований, микроэлементы неравномерно распределены в гумусовом слое почвы. По отношению к условному мировому кларку почв их можно разделить на две группы. Для элементов первой группы (Zn, Co) характерно повышенное содержание в почве относительно условного мирового кларка. Считаем, что это, во-первых, обусловлено геохимическими особенностями почвообразующих пород, во-вторых, их попаданием из атмосферы. Вторая группа элементов (Fe, Cu, Mn) обнаруживает недостаточность по отношению к условному мировому кларку, что свидетельствует об обедненности почв степного ландшафта данными микроэлементами.

Сезонная миграция микроэлементов в почве, вероятно, очень сильно зависит от их биологической роли в процессах жизнедеятельности микроорганизмов и растений. Поэтому валовый уровень микроэлементов возрастает в гумусовом слое почвы летом по отношению к весеннему сезону года ($P < 0,05$). Они участвуют в формировании окислительно-восстановительного потенциала между почвой и активными корневыми волосками растений, что способствует их поступлению и накоплению в вегетативной части.

Сезонные колебания содержания микроэлементов в растительных клетках вегетативной части не превышали значения МДУ. Максимальный уровень микроэлементов в растениях отмечен в весеннее время года, когда активно протекают процессы их роста. Это обусловлено тем, что микроэлементы обладают стимулирующим действием на процессы жизнедеятельности растений. Они участвуют в биосинтезе и распаде хлорофилла в листьях растений, регулируют интенсивность фотосинтеза и передвижение углеводов, что косвенно влияет на биосинтез других веществ в растительном организме, поскольку угле-

Таблица 1

Сезонный круговорот микроэлементов (мг/кг) в гумусовом слое почвы, $n=5$, $X \pm Sx$

Показатель	Осень	Зима	Весна	Лето	Среднее за год, X_{cp}	Условный мировой кларк почв	K_k
Fe	558,16±4,72	2134,0±18,09*	974,94±8,96*	2004,4±32,51*	1412,37±153,19	4200	0,34
Cu	13,00±0,39	14,00±0,83	5,50±0,38*	7,75±0,08*	10,06±0,85	20	0,50
Zn	98,70±0,59	44,30±0,24	37,80±0,57	58,5±2,26*	59,82±5,45	50	1,20
Co	11,80±0,34	10,80±0,35	9,75±0,31	14,50±0,35*	11,71±0,43	10	1,17
Mn	288,76±7,07	520,50±7,13	195,00±6,23	429,8±3,13*	358,52±28,91	850	0,42

* $P < 0,05$ по отношению к предыдущему сезону года.

Таблица 2

Сезонный круговорот микроэлементов в растениях, $n=5$, $X \pm Sx$

Время года	Микроэлемент, мг/кг				
	железо (Fe)	медь (Cu)	цинк (Zn)	кобальт (Co)	марганец (Mn)
Осень	58,66±0,77	1,08±0,08	17,48±0,70	0,56±0,01	30,4±0,45
Зима	56,0±0,39	3,16±0,10*	21,32±0,32	0,48±0,01	29,3±0,78
Весна	89,3±0,38*	3,29±0,07	24,84±0,64	1,00±0,14*	35,76±0,63*
Лето	77,2±0,69*	2,80±0,03	25,32±0,07*	0,72±0,02	32,84±0,31
МДУ	100,0	30,0	100,0	0,6-1,0	1000,0

* $P < 0,05$ по отношению к предыдущему сезону года.

воды служат исходным материалом для их образования.

Вероятно, по этой же причине высокий уровень микроэлементов в клетках растений сохраняется и в летнее время года, то есть они не только влияют на развитие растений, но и их цветение и созревание семян.

Содержание микроэлементов в печени рыжей полевки, так же как и в почве, и в вегетативной части растений зависело от сезона года, то есть от уровня биологической активности организма животных. При этом содержание химических элементов не превышало значения ПДК, но зависело от вида микроэлемента.

Железо используется в организме животных в процессах биосинтеза гемоглобина, миоглобина и гемсодержащих ферментов. Оно входит в состав трансферринов, ферритина. Уровень железа в печени рыжей полевки колебался в пределах 0,74-0,87 ПДК. Коэффициент биологического поглощения показал, что железо поступает в организм рыжей полевки преимущественно в составе растений (табл. 3). При этом максимальное значение КБП_{из растений} характерно для осеннего периода года, то есть периода созревания семян.

Медь содержалась в печени мелких млекопитающих в пределах 0,53-0,64 ПДК в зависимости от сезона года. Она в организме животных влияет на процессы роста, гемопоэза, иммуногенеза, тканевого дыхания.

Медь, как и железо, поглощается печенью рыжей полевки более активно из растений, чем из почвы. Наивысшее значение коэффициента биологического поглощения соответствовало осеннему периоду года. Считаем, что медь в данный период года в растениях содержится в наиболее подвижной форме, которая легко вовлекается в процессы метаболизма животного организма.

Уровень цинка в печени рыжей полевки составил 0,45-0,63 ПДК (табл. 3). Цинк относится к числу активных микроэлементов, влияющих на рост и нормальное развитие организмов, так как входит в состав более 100 ферментов и гормона инсулина.

Данный микроэлемент активно

ассимилируется организмом рыжей полевки из почвы. Коэффициент биологического поглощения составил 25,53-51,85. Особенно сильно цинк извлекается в весеннее время года, что, вероятно, обусловлено увеличением доли подвижных форм металла в гумусовом слое почвы в данный сезон года.

Кобальт – незаменимый микро-нутриент. Он является частью витамина В12, который участвует в кроветворении, обмене amino- и нуклеиновых кислот. Он входит в состав ферментных систем и тем самым проявляет сильное биологическое действие. Количество кобальта в печени рыжей полевки составило 0,05-0,125 ПДК. Данный микроэлемент животным организмом поглощается более активно из почвы, чем из растений. Наибольшее значение КБП_{из почвы} имеет осенью.

Анализ динамики миграции и аккумуляции кобальта указывает на то, что хотя почвы степного ландшафта заповедника по сравнению с условным мировым кларком почв и содержат более высокий уровень данного металла, но, вероятно, он содержится в малоподвижной форме, что затрудняет его усвоение организмом животных.

Марганец является наименее токсичным из необходимых организму микроэлементов. В печени рыжей полевки содержание марганца колеба-

лось в пределах 0,75-0,87 ПДК.

Хотя почва и растения в степном ландшафте заповедника бедны по марганцу, но в организме животных он содержится в достаточном количестве. При этом марганец поглощается организмом рыжей полевки преимущественно из почвы. Вероятно, это обусловлено тем, что марганец в гумусовом слое в основном представлен воднорастворимыми формами, которые доступны для усвоения в организме животных.

Заключение

Результаты наших исследований показали, что микроэлементы значительно отличаются друг от друга по коэффициенту биологического поглощения печенью рыжей полевки. Их можно условно разделить на две группы. Первая группа – это микроэлементы, которые аккумулируются в организме мелких млекопитающих из растений. Их поглощение максимально выражено в осенний период года, что, вероятно, обусловлено их поступлением в организм животных в составе семян растений. Вторая группа – это микроэлементы, поступающие в печень рыжей полевки из почвы. Их аккумуляция зависит от сезона года: для цинка и марганца она наиболее сильно выражена весной, а для кобальта – осенью. Вероятно, сезон года влияет на подвижность и доступность данных микроэлементов.

Таблица 3

Содержание микроэлементов (мг/кг) в печени рыжей полевки, n=5, X±Sx

Показатель	Осень	Зима	Весна	Лето	ПДК
Fe	40,0±0,83	36,9±0,14	40,9±1,10*	43,6±3,14	50,0
КБП _{из почвы}	0,072	0,017	0,042	0,022	
КБП _{из раст.}	0,68	0,65	0,46	0,56	
Cu	3,06±0,09	3,20±0,07	2,66±0,13*	2,72±0,17	5,0
КБП _{из почвы}	0,24	0,23	0,48	0,35	
КБП _{из раст.}	2,83	1,01	0,81	0,97	
Zn	25,2±0,48	17,9±0,11	19,6±0,79	24,9±1,06*	40,0
КБП _{из почвы}	25,53	40,41	51,85	42,56	
КБП _{из раст.}	1,44	0,84	0,79	0,98	
Co	0,25±0,01*	0,124±0,02	0,10±0,007	0,14±0,02	2,0
КБП _{из почвы}	2,12	1,15	1,03	0,97	
КБП _{из раст.}	0,45	0,26	0,10	0,19	
Mn	1,53±0,10	1,50±0,03	1,62±0,04	1,73±0,04	2,0
КБП _{из почвы}	0,53	0,29	0,83	0,40	
КБП _{из раст.}	0,05	0,051	0,045	0,053	

* P<0,05-0,001 по отношению к предыдущему сезону года.

Литература

1. Реймерс Н. Ф. Охрана природы и окружающей человека среды. М.: Наука, 1992. С. 36-69.
2. Черкасова М. В. Влияние антропогенной трансформации ландшафта на население наземных позвоночных животных: тез. докл. Всесоюзного совещания. М., 1987. Ч. 1. С. 254-259.
3. Воробейчик Е. Л., Давыдова Ю. А., Кайгородова С. Ю. Исследование мелких млекопитающих Висимского заповедника: вклад в популяционную экотоксикологию: м-лы науч. конф., посвященной 35-летию Висимского заповедника. Екатеринбург, 2006. С. 108-129.
4. Золотарева Б. Н. Результаты измерения тяжелых металлов в природных средах Приокско-Террасного биосферного заповедника. Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 186 с.