

УДК 599.323.43+504.054:615.9

ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СРЕДЫ: ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПИЩЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

© 2007 г. С. В. Мухачева, В. С. Безель

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург 620144, Россия

e-mail: msv@ipae.uran.ru, bezel@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 28.06.2005 г.

На основе анализа элементного состава содержимого желудочно-кишечного тракта особей рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780), обитающей на фоновых и загрязненных тяжелыми металлами территориях Среднего Урала, определено суточное потребление (рацион) животными цинка, меди, свинца и кадмия. Изучена сезонная динамика концентраций указанных элементов в кормовых объектах зверьков в градиенте химического загрязнения. Показано, что в бесснежный период (май–сентябрь) концентрации поллютантов в рационе полевок на фоновой территории изменялись незначительно, на загрязненных участках – существенно снижались к концу исследуемого периода (цинк – в 2.5 раза, медь – в 4.3 раза, свинец – в 5.5 раз). Доля зверьков, в содержимом желудочно-кишечного тракта которых уровни металлов значительно превышают средние фоновые показатели, в градиенте химического загрязнения существенно возрастает. Результаты сравнительного анализа поступления изученных элементов в организм животных с пищей с увеличением их содержания в среде обитания позволяют сделать заключение о наличии барьера, ограничивающего интенсивность включения мелкими млекопитающими тяжелых металлов в биогенные циклы в системе “почва–растительность–фитофаги”.

Традиционно для оценки уровня токсического воздействия на природные популяции мелких млекопитающих используют данные по содержанию токсикантов в объектах внешней среды (Безель и др., 1984, 1985; Milton et al., 2003; Roberts, Johnson, 1978). Однако животные этой группы обладают широкой экологической пластичностью, поэтому используемые ими корма представляют собой вегетативные части травянистых растений, семена, почки и кору кустарников, лишайники, грибы и т.д. Кроме того, активное пространственное перемещение животных в условиях мозаичности среды обитания (Лукьянов, 1999; Мухачева, Лукьянов, 1997) и пространственной гетерогенности полей загрязнения затрудняют реальную оценку токсической нагрузки, испытываемой популяцией в этих условиях.

Очевидно, что количество поступающих в организм животного химических элементов определяется величиной и структурой рациона, а в условиях химического загрязнения среды – содержанием в пище токсикантов. Энергетические потребности животного зависят от его возраста и физиологического состояния. Вместе с тем, состав рациона зависит не только от сезона, но и от специфики местообитаний, в том числе от степени их химической деградации. Сложное сочетание перечисленных факторов делает нереальной прямую оценку уровня поступления химических элементов в организм животного по их содержанию в объектах природной среды (Мухачева, Безель, 1995).

Используя данные о количестве химических элементов, поступающих в желудочно-кишечный тракт животного с кормом, мы интегрируем влияние на рацион перечисленных выше факторов и пытаемся определить роль абиотических и биотических условий в формировании токсической нагрузки на мелких млекопитающих, обитающих в градиенте химического загрязнения среды обитания.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве примера нами рассмотрено население рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780), являющейся в условиях подзоны южной тайги доминантным видом в сообществах мелких млекопитающих. В окрестностях мощного источника выбросов тяжелых металлов (медеплавильный комбинат на Среднем Урале) были выделены различные по степени загрязнения зоны: импактная (расстояние 1–2 км), буферная (4–5 км) и фоновая для регионального уровня (20–30 км). Подробное описание полигона исследований дано ранее (Воробейчик и др., 1994; Мухачева, Лукьянов, 1997).

Исследования проводили в сходных местообитаниях, основной тип леса – пихтово-еловый. В бесснежные периоды 1990–2003 гг. (с мая по сентябрь) животных отлавливали давилками, которые устанавливали одновременно (по 50–100 шт.) во всех зонах химического загрязнения на 4–5 сут.

Добытых рыжих полевок подвергали стандартному зоологическому обследованию. В соответствии с функциональным состоянием, определяемым спецификой роста, развития и репродуктивного состояния зверьков, их относили к одной из трех групп: перезимовавших особей (Ad), неполовозрелых сеголеток (Juv) и половозрелых прибылых, размножающихся в год рождения (Sad).

Для анализа специфики потребления корма рыжими полемками использованы данные по 1315 особям. Наполненные желудки взвешивали вместе с содержимым. Индекс наполнения желудка вычисляли как отношение его веса вместе с содержимым к весу тела (в %). При вычислении веса тела у беременных самок не учитывали общий вес эмбрионов.

Для химического анализа содержимое желудков отбирали чистым пластиковым шпателем и высушивали в сушильном шкафу до абсолютно сухой массы. Образцы взвешивали на аналитических весах KERN-770 с точностью 0.00001 г и озоляли методом мокрой минерализации в концентрированной азотной кислоте с использованием микроволнового разложения. Объем кислоты составлял 5 мл, до окончательного объема (10 мл) пробы доводили деионизированной водой. Концентрации металлов (меди, цинка, свинца и кадмия) в образцах определены методом атомной абсорбции на спектрометре AAS 6 Vario (Analytik Jena AG) в лаборатории популяционной экотоксикологии ИЭРиЖ УрО РАН. В работе использованы данные химического анализа содержимого желудка 613 особей рыжей полевки, выполнено более 2400 элементо-определений.

Объем и структура выбросов в течение периода исследований были почти постоянными, мощность выбросов составила 140–160 тыс. т/год. Спектр тяжелых металлов, аэрозоли которых поступают в атмосферу и загрязняют природную среду в районе исследований, широк, поэтому мы остановились на меди, цинке, свинце и кадмии, доля которых в выбросах наиболее высока. Так, массовая доля элементов, адсорбированных на твердых частицах, составила: Cu 44.9%, Zn 31.5, Pb 10.1% (Воробейчик и др., 1994).

Статистическую обработку данных проводили с использованием ПСП EXEL 6.0 и STATISTICA 5.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сезонная динамика концентрации тяжелых металлов в рационах

Согласно литературным данным, в питании рыжей полевки в пределах всего ареала хорошо выражены сезонные и биотопические различия, при этом сильно варьируют как состав кормовых объектов, так и их доленое участие. В то же время, существенных различий рациона у зверьков,

Концентрация свинца, мкг/г

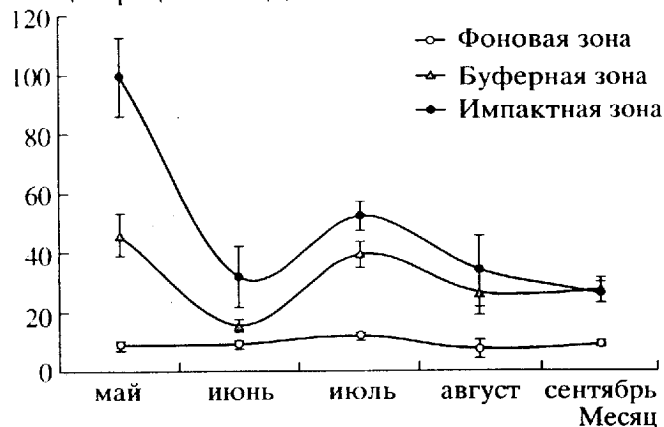


Рис. 1. Сезонная динамика концентрации свинца (мкг/г сухого веса) в рационе особей рыжей полевки в градиенте химического загрязнения среды обитания.

принадлежащих к разным половым и возрастным группам, не отмечено (Европейская рыжая полевка, 1981; Hansson, 1985). Это позволило нам при анализе сезонной динамики концентрации металлов в рационах рассматривать объединенные выборки животных независимо от их демографической принадлежности.

Сезонные изменения концентрации изученных элементов в кормовых объектах рыжей полевки в градиенте химического загрязнения среды обитания проиллюстрируем на примере свинца (рис. 1). На фоновом участке, подобно свинцу, концентрации других элементов (меди, цинка и кадмия) в пище остаются практически неизменными на протяжении всего бесснежного периода, отражая постоянство микроэлементного состава фоновой растительности. Четко выраженные сезонные изменения отмечены на загрязненных участках. Концентрации всех рассмотренных элементов в кормовых объектах были максимальными в весенний период и к осени снижались. Так, в рационах зверьков на импактном участке в непосредственной близости (1 км) от источника эмиссии концентрация свинца к осени уменьшается в 5.5 раз, меди – в 4.3 раза, цинка – в 2.4 раза. В меньшей степени выражены сезонные изменения содержания в рационе кадмия. Можно предположить, что повышенные весенние концентрации тяжелых металлов обусловлены дополнительным загрязнением почвы и растительности талыми водами, аккумулирующими атмосферные выпадения за весь зимний период, а также – структурой рациона. В этот период его основу составляют мхи и лишайники, семена древесных пород прошлого года урожая, а также почки деревьев и кустарников (Европейская рыжая полевка, 1981).

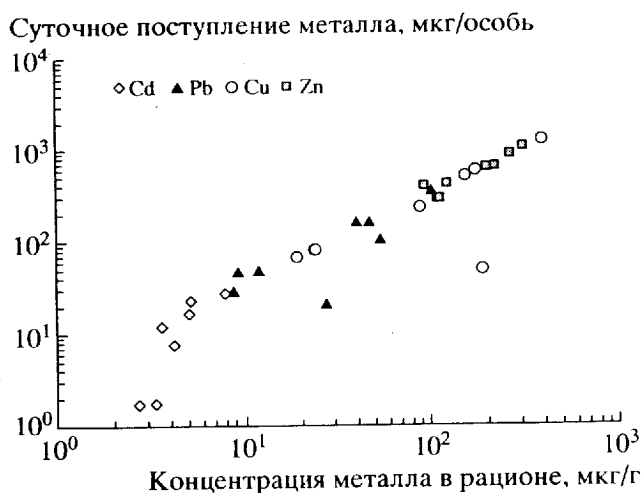


Рис. 2. Среднее суточное поступление металлов в организм перезимовавших особей рыжей полевки с кормом в зависимости от их концентрации в рационах. Средний Урал, 1990–1998 гг.

Различия в количестве корма, потребляемого особями разного возраста и физиологического состояния

При установленной идентичности состава рационов у животных различных функционально-возрастных групп, суммарное поступление в организм химических элементов определяется преимущественно количеством потребляемой пищи.

Известно, что энергетические потребности зверьков и, следовательно, количество потребляемого корма зависят от их физиологического состояния. По нашим данным (Мухачева, 2005), минимальный уровень наполнения желудков отмечен у неполовозрелых сеголеток обоих полов, максимальный средний вес содержимого желудка зарегистрирован в группе лактирующих самок. Так, в июле он составил 2.3 г, превысив аналогичный показатель у неразмножающихся самок более чем в 2 раза. У беременных самок такое превышение достигало 50%. Это согласуется с данными других авторов (Кузнецов, Михайлин, 1985), согласно которым потребление энергии в период беременности возрастает на 25%, при лактации – примерно в 2 раза.

Согласно литературным данным интенсивность питания молодых животных выше, чем взрослых. Молодые рыжие полевки по отношению к весу тела потребляют в 1.5 раза больше корма, чем взрослые. Такая закономерность объясняется относительно большими величинами поверхности желудочно-кишечного тракта у молодых животных и более высокими энергетическими потребностями растущего организма (Абатуров и др., 1982; Дольник, 1982). Если речь идет об абсолютной наполненности желудков, то по нашим данным у ювенильных самцов этот показатель

лишь на 25–30% ниже, чем у особей старшего возраста. Трехфакторный дисперсионный анализ относительного наполнения желудка показал, что на эту величину существенное влияние оказывают пол зверьков ($df = 1, f = 22.03, p < 0.001$) и их возраст ($df = 2, f = 3.36, p < 0.05$).

Важно оценить, каким образом градиент химического загрязнения среды влияет на количество корма, потребляемого животными различных групп. В ряде случаев отмечено снижение потребления пищи полевыми, обитающими в условиях естественного пессимума на северных границах ареала (Кузнецов, Михайлин, 1985), а также в районах нефтегазовых разработок (Наумова и др., 1999). По данным Наумовой с соавторами (1999) в структуре слизистой пищеварительного тракта полевок происходят значительные изменения, нарушается функционирование эндосимбионтов, замедляется продвижение пищи по желудочно-кишечному тракту. Аналогичные данные получены при исследовании мышевидных грызунов, обитающих в условиях химического загрязнения среды (Непомнящих и др., 1996).

В нашем случае лишь в год высокой численности рыжей полевки отмечено закономерное, примерно на 20%, снижение индекса наполнения желудка при увеличении суммарной токсической нагрузки ($df = 3, f = 4.25, p < 0.01$). В другие годы индекс наполненности желудка в пересчете на сухой вес изменялся незначительно. У прибылых самцов на различных участках этот показатель варьировал от 1.4 до 1.8%, для перезимовавших зверьков – от 1.2 до 1.6%. Дисперсионный анализ многолетних данных по наполненности желудка показал отсутствие значимого влияния на этот показатель участков, выделяемых нами в градиенте химического загрязнения ($df = 3, f = 1.19, p = 0.31$).

Уровень суточного поступления металлов с пищей

Оценки суточного поступления металлов в желудочно-кишечный тракт рыжих полевок, принадлежащих к разным субпопуляционным группам, в течение бесснежного периода в градиенте химического загрязнения среды обитания представлены в таблице. Связь между концентрациями металлов в рационах и уровнями их поступления в организмы полевок с пищей иллюстрирует рис. 2. Отметим, что максимальную химическую нагрузку перезимовавшие зверьки испытывают за счет физиологически значимых цинка и меди, меньшую долю составляют типичные токсиканты – свинец и кадмий.

Популяционные оценки суточного поступления металлов в организмы рыжих полевок должны учитывать вариабельность этого показателя, обусловленную не только сезонной динамикой

Сезонная динамика поступления тяжелых металлов в желудочно-кишечный тракт рыжих полевок, обитающих в разных зонах токсической нагрузки ($X \pm s$)

Группа	Участок	Поступление элементов в желудочно-кишечный тракт полевок, мкг/сут			
		Свинец	Кадмий	Медь	Цинк
Ad	Фон Буфер Импакт	Весна			
		29.01 ± 5.31 (30)	7.52 ± 1.09 (37)	81.536 ± 7.72 (37)	421.11 ± 26.40 (37)
		162.43 ± 25.08 (50)	16.73 ± 1.75 (60)	594.93 ± 98.25 (60)	885.99 ± 153.78 (60)
		354.43 ± 46.67 (35)	27.04 ± 2.56 (38)	1291.3 ± 126.46 (38)	1030.85 ± 82.22 (38)
		Лето			
		48.03 ± 8.30 (55)	4.05 ± 0.42 (55)	66.17 ± 6.78 (55)	399.30 ± 39.17 (55)
	159.41 ± 28.53 (24)	12.05 ± 1.22 (24)	523.58 ± 90.40 (24)	639.23 ± 43.12 (24)	
	107.14 ± 14.88 (28)	22.35 ± 2.29 (29)	548.87 ± 69.64 (29)	650.92 ± 66.06 (29)	
	Осень				
	48.69 ± 34.55 (2)	1.72 ± 1.11 (2)	81.52 ± 9.57 (2)	286.02 ± 9.79 (2)	
	21.16 (1)	0.96 (1)	233.74 (1)	296.84 (1)	
	–	–	–	–	
Sad	Фон Буфер Импакт	Лето			
		32.96 ± 5.79 (36)	3.19 ± 0.70 (36)	76.76 ± 15.28 (37)	303.11 ± 34.62 (37)
		133.32 ± 19.32 (29)	11.46 ± 1.97 (29)	563.22 ± 72.19 (30)	641.20 ± 58.32 (30)
	220.03 ± 33.05 (34)	14.22 ± 1.88 (34)	845.55 ± 107.04 (34)	639.23 ± 61.72 (32)	
	Осень				
	31.72 ± 8.71 (9)	3.14 ± 0.84 (8)	87.16 ± 7.65 (10)	380.85 ± 43.58 (10)	
63.56 ± 32.63 (9)	9.85 ± 2.24 (9)	225.08 ± 65.90 (9)	307.71 ± 79.45 (9)		
97.78 ± 28.85 (3)	8.71 ± 3.67 (3)	475.07 ± 139.33 (3)	498.02 ± 54.06 (3)		
Juv	Фон Буфер Импакт	Лето			
		36.31 ± 6.42 (54)	3.31 ± 0.42 (57)	51.64 ± 3.88 (57)	222.02 ± 13.29 (57)
		57.05 ± 10.71 (9)	8.59 ± 1.82 (9)	249.33 ± 31.78 (9)	405.37 ± 76.13 (9)
	145.57 ± 18.33 (24)	11.93 ± 1.59 (24)	313.07 ± 30.10 (24)	616.40 ± 56.77 (24)	
	Осень				
	27.09 ± 3.08 (80)	2.72 ± 0.351 (80)	69.84 ± 5.17 (80)	319.96 ± 14.10 (80)	
79.70 ± 12.39 (35)	9.36 ± 1.58 (35)	239.51 ± 32.83 (35)	305.39 ± 31.31 (35)		
70.42 ± 10.90 (10)	14.37 ± 8.32 (10)	307.58 ± 46.65 (10)	412.06 ± 71.33 (10)		

Примечание. В скобках – проанализированная выборка животных. Функционально-возрастные группы: Ad – перезимовавшие особи, Sad – половозрелые сеголетки, Juv – неполовозрелые прирбылые особи. Прочерк – нет данных.

рационов и функционально-возрастной структурой популяции, но и пространственной мозаичностью полей загрязнения. В этих условиях средние оценки уровней поступления не могут полностью отражать реальную картину транзита металлов через популяцию животных. На рис. 3 в качестве примера представлено распределение потока кадмия через популяцию рыжих полевок на фоновой и загрязненных территориях.

Следует отметить, что в градиенте химического загрязнения значительно возрастает доля зверьков, через желудочно-кишечный тракт которых в организм поступают повышенные количества металлов (Мухачева, 2005). Например, на фоно-

вой территории суточное поступление кадмия с кормом превышает 30 мкг/особь у 4.2% зверьков. На буферных и импактных участках их доля возрастает до 14–38.5% (соответственно).

Участие мелких млекопитающих в биогенном обмене можно оценить, сравнивая увеличение поступления микроэлементов в желудочно-кишечный тракт зверьков при возрастании их уровня в среде обитания. Например, в почвах буферной и импактной зон содержание меди увеличивается в 5–10 раз в сравнении с фоновыми показателями (Кайгородова, Воробейчик, 1996). При этом суточное поступление этого металла с кормом в организм сеголеток увеличивается (по сравнению с

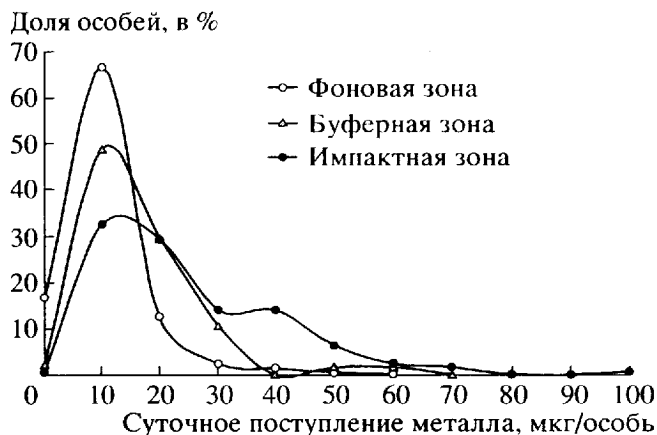


Рис. 3. Распределение зверьков с разным уровнем суточного поступления кадмия с кормом в зонах химического загрязнения среды. Средний Урал, 1990–1998 гг.

Кратность превышения концентрации меди в рационе, отн. ед.

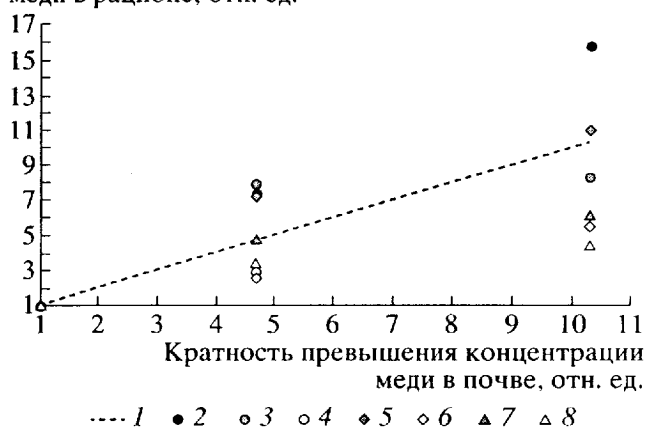


Рис. 4. Кратность превышения концентрации меди в содержимом желудка у особей рыжей полевки в градиенте химического загрязнения среды обитания в бесснежный период. Средний Урал, 1990–1998 гг. 1 – увеличение концентрации меди в рационе, прямо пропорциональное росту уровней меди в почве (отн. ед.); 2–8 – функционально-возрастные группы в разные сезоны (2 – весна-Ad, 3 – лето-Ad, 4 – осень-Ad, 5 – лето-Sad, 6 – осень-Sad, 7 – лето-Juv, 8 – осень-Juv).



Рис. 5. Динамика концентрирования свинца (мкг/г сухого веса) в скелете разновозрастных особей рыжей полевки в зависимости от содержания элемента в рационе. Средний Урал, 1990–1998 гг.

незагрязненными участками) на буферной территории в 2.6–7.2 раза, на импактной – в 4.4–11 раз (рис. 4). Весной суточное потребление меди с пищей в градиенте загрязнения возрастает у перезимовавших особей в еще большей мере (в 7–16 раз), чем общее загрязнение почв на тех же участках. Непропорционально меньшее (по сравнению с градиентом загрязнения почв) ежедневное поступление металлов в организмы животных в летне-осенний период можно рассматривать в качестве некоторой барьерной функции, которую выполняет население мелких млекопитающих, участвуя в формировании биогенных циклов микроэлементов в природных системах.

Возможно, что подобное ограничение связано со спецификой накопления элементов растениями либо с изменением видового состава фитоценоза, вызванного химическим загрязнением. Не исключено также прямое участие животных при формировании рационов. Согласно данным Зайченко (1981) мышевидные грызуны избирательно используют в пищу растительные корма в зависимости от характера загрязнения.

Содержание изученных элементов в организмах животных

Концентрации обсуждаемых химических элементов, определяемые нами в желудочно-кишечном тракте, отражают оперативную (разовую) экотоксикологическую ситуацию. Если иметь в виду длительное накопление элементов в депонирующих средах животных (например, свинца – в костных структурах или кадмия – в почках и печени), то в условиях пространственного перемещения зверьков и мозаичности полей загрязнения наши оценки могут не полностью соответствовать интегрированному во времени и пространстве составу рационов. В этой связи следует оценить, в какой мере содержание химических элементов в рационе определяет их накопление в организмах животных, т.е. соответствует реальным токсическим нагрузкам.

На рис. 5 представлена зависимость изменения концентрации свинца в скелете рыжих полевок от концентрации этого элемента в рационе. Характерно, что при низком его содержании в кормовых объектах до 100–150 мкг/г сухого веса заметного изменения концентрации свинца в скелете животных не регистрировали. Более высокие уровни токсиканта в рационе ведут к закономерному увеличению количества металла, накапливающегося в костной ткани. Сходные данные получены в результате анализа концентрации кадмия, депонирующегося в печени и почках рыжих полевок (рис. 6).



Рис. 6. Динамика концентрирования кадмия (мкг/г сухого веса) в печени и почках у разновозрастных особей рыжей полевки в зависимости от содержания элемента в рационе. Средний Урал, 1990–1998 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ выявил сезонную динамику концентраций ряда химических элементов в содержимом желудка рыжих полевок, обитающих на Среднем Урале в зоне химического загрязнения природной среды тяжелыми металлами. Максимальные концентрации меди, цинка, свинца и кадмия в кормовых объектах отмечены в весенний период у перезимовавших зверьков, минимальные — у неполовозрелых сеголеток. К осени концентрации металлов в рационе полевок всех функционально-возрастных групп снижаются. На фоновой территории содержание изученных загрязнителей в кормовых объектах особей рыжей полевки в бесснежный период менялось незначительно.

Показано, что в градиенте химического загрязнения возрастает доля зверьков, в содержимом желудочно-кишечного тракта которых количество металлов значительно превышает средние фоновые показатели. Установлено, что концентрация изученных элементов, накопленных в органах и тканях рыжих полевок, прямопропорциональна их количеству в содержимом желудочно-кишечного тракта зверьков. Полученные результаты свидетельствуют о наличии барьера, ограничивающего интенсивность включения металлов в биогенные циклы в системе «почва–растительность–фитофаги».

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (06-04-48359).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров Б.Д., Холодова М.В., Субботин А.Е., 1982. Интенсивность потребления и перевариваемость

кормов у сайгаков (*Saiga tatarica*) // Зоол. журн. Т. 61. Вып. 3. С. 1870–1881.

Безель В.С., Баженов А.В., Мокроносов А.А., Садыков О.Ф., 1985. Мышевидные грызуны как возможный индикатор уровней свинца в природных экосистемах // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Вып. VII. Л.: Гидрометеиздат. С. 27–35.

Безель В.С., Садыков О.Ф., Тестов Б.В., Мокроносов А.А., 1984. Накопление свинца мышевидными грызунами в природных популяциях // Экол. № 6. С. 25–31.

Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г., 1994. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ Наука. 280 с.

Дольник В.Р., 1982. Аллометрия морфологии, функции и энергетики гомойотермных животных и ее физический контроль // Журн. общей биол. Т. 43. Вып. 4. С. 435–454.

Европейская рыжая полевка, 1981. М.: Наука. 352 с.

Зайченко О.А., 1981. Мелкие млекопитающие как индикатор антропогенных нагрузок // «Природоохранные аспекты освоения ресурсов Минусинской котловины». Иркутск, Шушенское. С. 51–60.

Кайгородова С.Ю., Воробейчик Е.Л., 1996. Трансформация некоторых свойств серых почв под действием выбросов медеплавильного комбината // Экол. № 3. С. 187–193.

Кузнецов Г.В., Михайлин А.П., 1985. Особенности питания и динамики численности рыжей полевки в условиях широколиственного леса // Млекопитающие в наземных экосистемах. М.: Наука. С. 127–156.

Лукьянов О.А., 1999. Экологические связи расселения в популяциях мелких млекопитающих // Журн. общей биол. Т. 60. № 2. С. 162–174.

Мухачева С.В., 2005. Особенности питания рыжей полевки в условиях техногенного загрязнения среды обитания // Сиб. эколог. журн. № 3. С. 523–533.

Мухачева С.В., Безель В.С., 1995. Уровни токсических элементов и функциональная структура популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного воздействия // Экол. № 3. С. 237–240.

Мухачева С.В., Лукьянов О.А., 1997. Миграционная подвижность населения рыжей полевки в градиенте техногенных факторов // Экол. № 1. С. 34–39.

Наумова Е.И., Нестерова Н.Г., Жарова Г.К., Чистова Т.Ю., Подтяжкин О.И., 1999. Нарушение пищеварительных функций эндосимбионтов у красных полевок, обитающих на территории нефтегазовых разработок в Западной Сибири // Терiol. об-во. VI съезд. Тез. докл. М.: Наука. С. 173.

Непомнящих Г.И., Айдагулова С.В., Непомнящих Л.М., 1996. Ультраструктурная и стереологическая характеристика эпителиоцитов желудка диких мышевидных грызунов в условиях антропогенного загрязнения среды обитания // Бюл. эксперим. биол. и мед. Т. 122. № 12. С. 682–686.

Hansson L., 1985. *Clethrionomys* food: generic, specific and regional characteristics // Ann. zool. fenn. V. 22. № 3. P. 315–318.

Milton A., Cook J.M., Johnson M.S., 2003. Accumulation of lead, zinc and cadmium in a wild population of *Clethrionomys glareolus* from an abandoned lead mine // Arch. Environ. Contam. Toxicol. V. 44. P. 405–411.

Roberts R.D., Johnson M.S., 1978. Dispersal of heavy metals from abandoned mine workings and their transference through terrestrial food chains // Environ. Pollut. V. 16. № 4. P. 239–310.

CHEMICAL POLLUTION OF THE ENVIRONMENT: HEAVY METALS IN DIET OF SMALL MAMMALS

S. V. Mukhacheva, V. S. Bezel

Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Division, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg 620144, Russia
e-mail: msv@ipae.uran.ru, bezel@ipae.uran.ru

The diel uptake of zinc, copper, cadmium, and lead with food was studied in the bank vole, *Clethrionomys glareolus* Schreber 1780, under conditions of heavy metal pollution of the environment in the vicinity of a copper smelter (the Middle Urals) in 1990–2003 based on the analysis of the element contents in the gastrointestinal tract. The seasonal dynamics of heavy metal concentrations in the forage during the snowless period (May–September) revealed that the maximal content of the pollutants in animals was determined in May, and by October, their amount decreased independently of the age of animals. In the background territory, the seasonal changes in heavy metal concentrations were insignificant. With increasing the pollution level, the share of animals with the elevated concentration (in relation to the average background content) of heavy metals in the gastrointestinal tract also increased. The results obtained showed that there was a barrier, which limited the intensity of including heavy metals by small mammals into the soil–plant–phytophagan system.