

Исследование мелких млекопитающих Висимского заповедника: вклад в популяционную экотоксикологию?

Е. Л. Воробейчик, Ю. А. Давыдова, С. Ю. Кайгородова, С. В. Мухачева

Институт экологии растений и животных УрО РАН,

ev@ipae.uran.ru, davydova@ipae.uran.ru, kaygorodova@ipae.uran.ru, msv@ipae.uran.ru

Многолетние исследования мелких млекопитающих на территории Висимского заповедника до настоящего времени проводились без учета возможного негативного влияния химического загрязнения от близко расположенных крупных промышленных предприятий — Кировградского медеплавильного комбината и Верхнетагильской ГРЭС. Для участков, на которых с 1948 по 2005 г. разные исследователи проводили отловы мелких млекопитающих, определены уровни загрязнений тяжелыми металлами природных депонирующих сред (снег, лесная подстилка), проведено их сопоставление с величинами, характерными для фоновых и импактных территорий Уральского региона. Сделан вывод о существенной неоднородности территории Висимского заповедника по уровням химического загрязнения, обусловленной как различной удаленностью участков от источников выбросов, так и сложной орографией местности (перехват атмосферных выпадений горными вершинами). В пределах заповедника выделены участки с максимальными (район горы Большой Сутук) и минимальными (район дер. Большие Галашки, склоны гор Малый Сутук и Липовый Сутук, пойма реки Медвежья) уровнями химического загрязнения. На участке с максимальным уровнем загрязнения зарегистрировано значительное увеличение содержания свинца в скелете и кадмия в почках у особой рыжей полевки по сравнению с фоновыми территориями. Полученные данные заставляют внести существенные коррективы в интерпретацию результатов изучения биологии и экологии мелких млекопитающих на территории Висимского заповедника: при анализе материалов, собранных в районе горы Большой Сутук, необходимо учитывать значительный риск токсического поражения животных от повышенного содержания техногенных поллютантов в их организме.

Висимский заповедник в течение более полувека рассматривался многими териологами как совершенно «чистая» и нетронутая территория — последний сохранившийся на Среднем Урале участок первобытных темнохвойных лесов южной тайги. Несколько поколений исследователей проводили на этой территории фаунистические и экологические работы, никак не увязывая их с возможным техногенным воздействием относительно близко расположенных промышленных предприятий — медеплавильного комбината г. Кировграда и ГРЭС г. Верхнего Тагила.

Влияние на заповедник промышленных выбросов изучал в 70-х годах прошлого столетия А. И. Лукьянец (Лукьянец, Шелковникова, 1975; Лукьянец, 1979). Степень загрязнения воздуха он оценивал по интенсивности усыхания деревьев и визуальным признакам повреждения листовых пластинок. В итоге был сделан вывод о том, что «территория Висимского заповедника находится вне прямого воздействия выбросов Верхнетагильской ГРЭС и Кировградского медеплавильного комбината» (Лукьянец, 1979; с. 163), поскольку горные «возвышенности в сочетании с западным направлением ветров препятствуют проникновению вредных веществ на территорию Висимского заповедника, расположенного по отношению к источникам ... [выбросов] с подветренной стороны на расстоянии 15–20 км» (с. 147). Этот вывод на долгое время стал единственным свидетельством защищенности заповедника от промышленного за-

грязнения. Однако обратим внимание, во-первых, на то, что работа А. И. Лукьянца базировалась исключительно на визуально регистрируемых признаках поражения древесной растительности и не содержала каких-либо данных химического анализа. Во-вторых, все его 48 пробных площадей были заложены на небольшом удалении от промышленных предприятий (от 1 до 4–6 км, максимально — 11 км к востоку от ГРЭС), а на территории самого заповедника не было ни одной пробной площади.

Работы по изучению действия Кировградского комбината на прилегающие территории были вновь инициированы в середине 80-х — начале 90-х годов Ю. Ф. Мариным (1990, 1992а, 1996). Тогда же О. А. Лукьянов и Л. Е. Лукьянова начали исследования трансформации популяций и сообществ мелких млекопитающих в градиенте загрязнения от Кировградского комбината; результаты их работ с включением данных по другим источникам загрязнения изложены в большой серии публикаций (Лукьянова, 1990; Лукьянова, Лукьянов, 1992; Лукьянова, Лукьянов, 1998а, 1998б). В 1993–1994 гг. к этой тематике подключились другие сотрудники ИЭРиЖ УрО РАН (О. А. Жигальский, Е. Л. Воробейчик, В. А. Мухин, И. Н. Михайлова, В. М. Горячев, В. С. Дедков, С. Ю. Кайгородова, Е. В. Хантемирова, И. Л. Гольдберг), а также Висимского заповедника (Ю. Ф. Марин, Л. В. Марина, Е. Г. Ларин), проводившие сбор материала по ряду объектов (древесный, травяно-кустарничковый и моховой ярусы, эпифитные лишайники, дере-

воразрушающие грибы, почва, почвенная биота, позвоночные животные). Работы были проведены в рамках нескольких договорных тем по заказу комитета по охране окружающей среды Свердловской области; результаты опубликованы, к сожалению, лишь отрывочно (Воробейчик и др., 1996; Кайгородова, 1996а, 1996б). Однако базовый экспериментальный полигон (относительно прямая почти 40 километровая трансекта с серией пробных площадей от Кировградского комбината до дер. Большие Галашки в направлении минимальной повторяемости атмосферных переносов от КМК и Верхнетагильской ГРЭС), послуживший основой для всех этих работ, был исходно заложен Ю. Ф. Мариным вне собственно территории заповедника — на расстоянии от 200 до 2000 м от его северной границы вдоль Сулемского водовода в пределах его охранной зоны.

Итак, можно констатировать, что на настоящий момент «техногенная чистота» Висимского заповедника строго не документирована, а уверенность в ней имеет, скорее, психологические основания, связанные с заповедным статусом данной территории. В то же время, существуют косвенные свидетельства обратного. Так, по ряду особенностей динамики, структуры и воспроизводства популяций мелких млекопитающих (Давыдова, 2002, 2003; Мухачева, Давыдова, в печати; Полявина, 2005; Тарахтий и др., 2005) условия обитания в ряде мест на востоке Висимского заповедника могут быть интерпретированы как далекие от оптимальных, но вопрос о причинах этой неоптимальности остается открытым.

Цель данной работы — определение уровней химического загрязнения тех участков Висимского заповедника, на которых проводились исследования мелких млекопитающих, а также сопоставление степени их загрязнения, как с фоновыми, так и импактными территориями Уральского региона.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ВИСИМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Изучение мелких млекопитающих на территории Висимского заповедника имеет длительную историю (табл. 1), которая может составить предмет отдельного исследования. Впервые как объект изучения мелкие млекопитающие упоминаются в работах М. Я. Марвина (1959) по инвентаризации териофауны заповедника, начавшейся с его организацией в 1946 г. Дальнейшее комплексное исследование биоты заповедника было связано с созданием и функционированием Среднеуральского горно-лесного биогеоценологического стационара. В опубликованном «Очерке природы Висимского государственного заповедника» (Турков, Колесников, 1977) дан краткий обзор фауны заповедника.

С 1974 по 1995 гг. мышевидные грызуны были объектом масштабных (более 40 учетных линий, охватывающих все основные типы местообитаний заповедника) фаунистических наблюдений К. И. Бердюгина. Цель этих работ — установление состава исходных сообществ грызунов южной тайги среднеуральского низкогорья, изучение их биотопического распределения, а также анализ изменений структуры сообществ в производных лесных местообитаниях, сформировавшихся на вырубках и гарях. В результате была оценена относительная численность мелких млекопитающих, ее межгодовая динамика, доля видов в отловах, их биотопическая приуроченность (Бердюгин, 1975, 1976, 1996; Бердюгин и др., 1996; Бердюгин, 2000).

С 1982 г. в рамках программы «Летопись природы» учеты мелких млекопитающих ведет Ю. Ф. Марин с целью мониторинга видового состава и численности. Постоянные учетные линии располагаются в пределах одного лесоустроительного выдела и характеризуют как коренные леса, так и нарушенные предыдущей антропогенной деятельностью местообитания (кварталы 97, 112, 9, 18 по лесоустройству 2000 г.). Опубликовано несколько фаунистических сводок (Марин 1987, 1992б, 2001), создана обширная база данных.

В течение 8 лет в условиях стационара, расположенного в пойме р. Медвежка (69 квартал по лесоустройству 1986 г.) исследования фауны и популяционной экологии землероек проводила Л. П. Шарова. Отловы велись на участках коренных елово-пихтовых и производных березовых лесов.

С 1986 г. наблюдения за состоянием населения мелких млекопитающих коренных и производных биотопов заповедника ведет И. А. Кузнецова. Анализируются изменения, связанные как с естественными процессами освоения новых мест обитания, так и вызванные природными катастрофическими явлениями (Кузнецова и др. 1996, 2001; Кузнецова 2000, 2002). Учетные линии расположены вблизи дер. Большие Галашки и в западной части заповедника на ландшафтно-экологическом профиле (на границе кварталов 21, 29, 30 по лесоустройству 2000 г.).

Динамику показателей обилия и пространственной структуры, миграционные процессы в популяциях мышевидных грызунов изучал О. А. Лукьянов (Лукьянов, 1987, 1996; Лукьянова, Лукьянов, 2001), используя трансекту протяженностью 2 км из 200 ловушек (на границе кварталов 84, 85, 101 по лесоустройству 1986 г.) и пролегающую через склоны Малого Сутука и Липового Сутука. Сейчас эту работу продолжает Л. Е. Лукьянова. Участок заповедника, в котором проводили эти исследования, стал уникальной экспериментальной площадкой после катастрофического ветровала 1995 г. и мощного пожара 1998 г.

С 1993 г. И. А. Кшнясев ведет наблюдения за населением мышевидных грызунов на стационарной площадке, расположенной на западном склоне горы Большой Сутук, с применением методики мечения и повторного отлова. Задача этих работ — изучение динамики видового состава, численности, поло-возрастной структуры, репродуктивной и миграционной активности мелких млекопитающих (Кшнясев, 1996а, 1996б; Давыдова, Кшнясев, 2004; Кшнясев, Давыдова, 2005). Исследование репродуктивных особенностей мышевидных грызунов, связанных с сезонной и межгодовой динамикой и структурой популяции с 1995 г. ведет Ю. А. Давыдова (2001) на южном склоне горы Большой Сутук (140 квартал по лесоустройству

2000 г.). Там же с 2000 г. отловы мышевидных грызунов проводит Е. В. Михеева, изучающая эколого-физиологические особенности лесных полевков в районе естественной геохимической аномалии (Михеева и др., 2004; Михеева, Жигальский, 2004; Михеева, Байтимилова, 2005), а территория заповедника (южный склон горы Большой Сутук) выбрана в качестве фонового участка.

Таким образом, в Висимском заповеднике в течение длительного времени мелкие млекопитающие были объектом фаунистических и популяционно-экологических работ, не связанных с проблемой влияния прилегающих промышленных предприятий.

Таблица 1

История изучения мелких млекопитающих в Висимском заповеднике

Автор	Годы отловов мелких млекопитающих	Основные публикации	Расположение мест отлова	Код площадки*
М. Я. Марвин	1948, 1949	Марвин, 1959	Западная часть заповедника и прилегающая к ней территория	Г-1
К. И. Бердюгин	1974–1995	Бердюгин, 1975, 1976, 1996; Бердюгин и др., 1996; Кузнецова и др., 1996; Бердюгин и др., 2000	Вся восточная часть заповедника	БС-1** БС-3**
Ю. Ф. Марин	1982–2005	Марин, 1987, 1992б, 1996, 2001	Западная, центральная, северная, юго-восточная часть заповедника	МС-2**
И. А. Кузнецова	1986–2005	Шарова, Кузнецова, 1987; Кузнецова и др., 1996; 2001; Бердюгин и др., 1996, 2000; Кузнецова, 2000; 2002	Западная часть заповедника	Г-1
Л. П. Шарова	1986–1993	Шарова, Кузнецова, 1987; Шарова, 1989; Большаков и др., 1996; Кузнецова и др., 1996; Бердюгин и др., 1996, 2000	Юго-восточная часть заповедника	Ш-1
О. А. Лукьянов	1986–1999	Лукьянов, 1987; 1996; Лукьянов, Лукьянова, 1990, 2002; Лукьянова, Лукьянов, 1992, 1998а, 1998б, 2001	Юго-восточная часть заповедника	МС-2** ЛС-1**
Л. Е. Лукьянова	1987–2005	Лукьянова, 1990; Лукьянов, Лукьянова, 1990, 2002; Лукьянова, Лукьянов, 1992, 1998а, 1998б, 2001	Юго-восточная часть заповедника	МС-2** ЛС-1**
И. А. Кшнясев	1993–2005	Кшнясев, 1996а, 1996б; Давыдова, Кшнясев, 2004; Кшнясев, Давыдова, 2005	Юго-восточная часть заповедника	ПМ
Ю. А. Давыдова	1995–2005	Давыдова, 2001, 2002, 2003	Юго-восточная часть заповедника	БС-3
Е. В. Михеева	2000–2005	Михеева и др., 2004; Михеева, Жигальский, 2004; Михеева, Байтимилова, 2005	Юго-восточная часть заповедника	БС-3

* Обозначение пробных площадей, использованных для оценки уровней загрязнения в местах стационарных отловов мелких млекопитающих (соответствуют обозначениям на рис. 2 и в табл. 3).

** Пробные площади соответствуют не всем участкам отловов, проводимых автором.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ

Кировградский медеплавильный комбинат (КМК) — один из старейших заводов Урала. Современное название предприятия — «Произ-

водство полиметаллов», филиал ОАО «Уралэлектромедь». Длительность его воздействия на экосистемы на настоящий момент составляет более 90 лет. Верхнетагильская ГРЭС действует уже в течение 50 лет. В составе выбросов медеплавильного комбината преобладает сернистый ангидрид, а в

выбросах электростанции — щелочная кальций-содержащая пыль.

Общая структура выбросов КМК сопоставима со структурой выбросов других крупных медеплавильных предприятий Урала, но в составе неорганической пыли среди тяжелых металлов преобладает свинец, тогда как на других предприятиях выше относительная доля меди и цинка. Общая масса выбросов КМК и Верхнетагильской ГРЭС составляла в период стабильной экономической ситуации в конце 80-х годов XX века 230625 т/год и снизилась в 1993 г. до 119658 т/год. Суммарные объемы выбросов этих двух предприятий превышают объемы выбросов Среднеуральского меде-

плавильного завода (СУМЗа), Красноуральского медеплавильного комбината (ОАО «Святогор») и достигают значений выбросов Карабашского медеплавильного комбината — одного из крупнейших предприятий России (табл. 2). Поэтому, можно предполагать, что распространение ореолов рассеяния тяжелых металлов и протяженность зон локальной техногенной нагрузки сопоставимы с таковыми для хорошо изученных территорий вокруг СУМЗа и Карабашского комбината, где загрязнение достигает региональных фоновых значений на расстоянии 20–40 км от предприятий в сторону минимальных переносов (Воробейчик и др., 1994; Степанов и др., 1992).

Таблица 2

Атмосферные выбросы (т/год) крупных медеплавильных предприятий и ГРЭС Урала (данные по меди, цинку, свинцу и мышьяку приведены суммарно для всех форм нормируемых соединений)

Пред-приятие	Год пуска	Год учета выброса	Общий выброс	Сернистый ангидрид	Пыль	В том числе:			
						Cu	Zn	Pb	As
Карабашский МК	1910	1977*	296200	267200	29000	1370	5140	3930	2440
		1990*	50681	46842	3839	—	—	—	—
Красноуральский МК	1932	1999**	84987	78220	5176	533	987	164	287
Среднеуральский МЗ	1940	1989***	149976	134089	15887	2610	1753	563	639
		1995**	95577	76904	10069	1155	927	357	287
Кировградский МК	1914	1989****	95325	85500	6937	405	259	511	174
		1993**	56412	51873	3730	45	180	206	132
Верхнетагильская ГРЭС	1956	1987**	135300	34400	78700	—	—	—	—
		1993**	63246	15499	34939	—	—	—	—

Прочерк означает отсутствие данных; источники информации: * — Степанов и др., 1992; ** — данные экологических служб предприятий; *** — Воробейчик и др., 1994; **** — Марин, 1996.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Характеристика пробных площадей

Были выбраны три ключевых участка (рис. 1), расположенных на разном удалении от источников выбросов:

1. Галашкинский: крайняя западная часть заповедника, вблизи деревни Большие Галашки; наиболее удален от Кировградского медеплавильного комбината и Верхнетагильской ГРЭС.
2. Сутукский: юго-восточная часть Висимского заповедника, включающая наиболее «горную» часть территории — горы Большой Сутук, Малиновая, Долгая, Малый Сутук, Липовый Сутук и др.; находится на удалении 10–20 км от промышленных предприятий.
3. Кировградский: расположен в непосредственной близости от Кировградского медеплавильного комбината и характеризует «классический» вариант импактной зоны (ближайший сохранившийся участок пихтово-елового леса возле завода).

На Галашкинском и Сутукском (рис. 2) участках пробные площади закладывали с «привязкой» к местам стационарных отловов мелких млекопитающих, проводимых териологами в разные годы. Одновременно закладывали пробные площади с учетом сложной орографии исследуемого района — на вершинах и склонах гор разных экспозиций и на разных высотах, в поймах рек и межгорных депрессиях. В настоящей работе подробно рассмотрены материалы только по 9 пробным площадям, имеющим непосредственное отношение к предмету обсуждения; их характеристика представлена в таблице 3.

Для Галашкинского участка дополнительно включены данные по 13 пробным площадям, обследованным в 1997 г.

Для сопоставления изучаемой территории с другими территориями Уральского региона по уровням загрязнения дополнительно были использованы полученные ранее и неопубликованные материалы по следующим ключевым участкам:

— пос. Ключи Сысертского района Свердловской области (Биостанция Уральского госуниверситета), 13 пробных площадей, 1996 г.;



Рис. 1. Схема расположения ключевых участков (треугольники) в районе Висимского заповедника — Галашикинского, Сутукского, Кировградского.

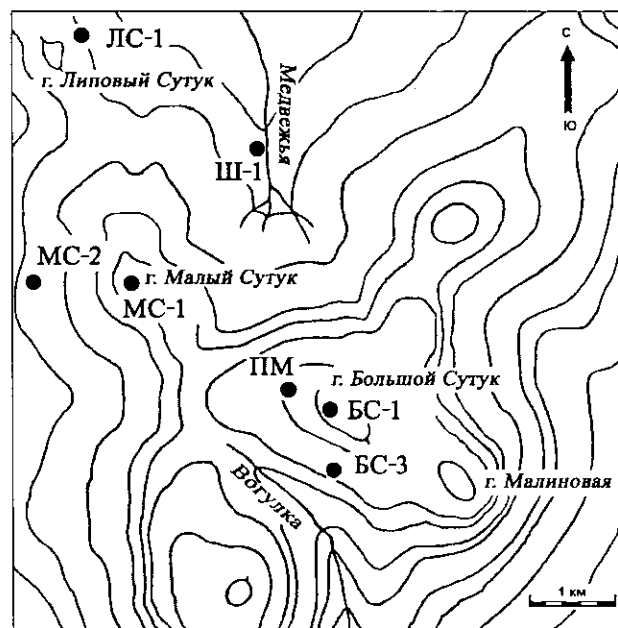


Рис. 2. Схема расположения пробных площадей на Сутукском участке.

- окрестности г. Артемовска, 13 пробных площадей, 1996 г.;
 - Национальный парк «Припышминские Боры», Тугулымская дача, 3 пробные площади, 2005 г.;
 - окрестности Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), фоновая зона (20–30 км от завода);
 - окрестности Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), буферная зона (4–6 км от завода);
 - окрестности Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), импактная зона (1–2 км от завода).
- В районе СУМЗа уровни загрязнения лесной подстилки охарактеризованы по 208 пробным площадям (сбор 1995–1996, 1998 гг.); загрязнение снега охарактеризовано по 9 площадям (сбор 2005 г.).

Таблица 3

Характеристика пробных площадей, использованных для оценки уровней загрязнения

Код площадки	Координаты, высота н. у. м.	Расстояние от КМК, км	Расположение	Почва	Растительность
К-1	N 57°25' E 60°01' 327 м	3.5	К западу от Кировградского медеплавильного комбината	Дерново-подзолистая тяжело-суглинистая средне-каменистая	Пихто-ельник черничный
БС-1	N 57°22' E 59°46' 698 м	18.4	Вершина горы Большой Сутук	Горно-лесная бурая легко-глинистая сильно-каменистая	Пихто-ельник высокотравный
БС-3	N 57°22' E 59°46' 576 м	18.8	Южный склон горы Большой Сутук, район стационарных исследований мелких млекопитающих	Горно-лесная бурая тяжело-суглинистая сильно-каменистая	Пихто-ельник мелкотравно-вейниковый
ПМ	N 57°22' E 59°46' 639 м	18.7	Западный склон горы Большой Сутук, площадка мечения мелких млекопитающих	Горно-лесная бурая тяжело-суглинистая сильно-каменистая	Пихто-ельник разнотравно-папоротниковый
МС-1	N 57°23' E 59°44' 586 м	20.0	Вершина горы Малый Сутук	Горно-лесная бурая легко-глинистая сильно-каменистая	Пихто-ельник высокотравно-папоротниковый
МС-2	N 57°23' E 59°43' 494 м	20.8	Западный склон горы Малый Сутук, район стационарных исследований мелких млекопитающих	Горно-лесная бурая тяжело-суглинистая сильно-каменистая	Пихто-ельник липняковый папоротниково-разнотравно-злаковый
Ш-1	N 57°25' E 59°45' 412 м	18.5	Пойма р. Медвежья, район стационарных исследований мелких млекопитающих	Дерново-подзолистая тяжело-суглинистая слабо оторфованная глубинно- глеевая	Пихто-ельник хвощово- осоково-мшистый с примесью кедра
ЛС-1	N 57°24' E 59°43' 473 м	20.3	Привершинная часть горы Липовый Сутук, участок трансекты отловов мелких млекопитающих	Горно-лесная бурая тяжело-суглинистая сильно-каменистая	Пихто-ельник липняковый высокотравно-злаковый
Г-1	N 57°28' E 59°31' 401 м	34.5	Западная часть заповедника вблизи дер. Большие Галашки, начало ландшафтно-экологического профиля заповедника	Горно-лесная буро-подзолистая тяжело-суглинистая слабо-каменистая	Пихто-ельник мелкотравно-вейниковый

Снеговой покров

Для анализа аэрогенного поступления поллютантов в конце февраля 2005 г. был проведен отбор снега на Галашкинском и Сутукском ключевых участках. На каждой площади снегомерной трубой отобрано по 10 проб на всю глубину снежного покрова. После таяния снега при температуре 22°C (время таяния 24–30 часов) пробу фильтро-

вали через фильтр «зеленая лента», фильтр высушивали до постоянного веса при температуре 105°C, взвешивали на аналитических весах KERN-770 с точностью 0.00001 г и озоляли при температуре 450°C в течение 8 часов. Экстракцию тяжелых металлов из прокаленного остатка проводили концентрированной азотной кислотой методом микроволнового разложения. Фильтрат (аликво-

та 250 мл) выпаривали на песочной бане до сухого остатка, который смывали 25 % азотной кислотой и доводили объем деионизированной водой до 20 мл. Валовое содержание тяжелых металлов в снеге рассчитано как сумма водорастворимых и кислоторастворимых форм.

Почвенный покров

Образцы лесной подстилки на Кировградском, Сутукском и Галашкинском участках отобраны в июле 2005 г. (по пять индивидуальных проб на площадь, взятых по схеме конверта с длиной стороны 10 м). На трех пробных площадях (БС-1, К-1, Г-1) заложены почвенные разрезы с отбором образцов по горизонтам. Пробоподготовка подстилок и почв проведена согласно общепринятой методике (Аринушкина, 1962). Измерения $pH_{\text{водный}}$ проведены на потенциометре $pH = 410$ при соотношении субстрат/вода 1: 25 для подстилок и 1: 5 для минеральных горизонтов. Подвижные формы тяжелых металлов из образцов массой 2.000 г экстрагированы 20 мл 5 % азотной кислотой встряхиванием пробы в течение 1 часа и отстаиванием в течение 24 часов. Затем растворы отфильтрованы через фильтр «красная лента».

Мелкие млекопитающие

Для оценки уровней накопления токсических элементов в организме мелких млекопитающих использовали материалы отловов 2004 г. на пробной площади БС-3. Безвозвратное изъятие животных проводили в течение бесснежного периода несколькими сериями (весной, летом, осенью) с использованием стандартного метода ловушкочиний (Карасева, Телицына, 1996) и животоотлова. В анализ включено 86 особей рыжей полевки.

Выбор тканей животных для анализа определялся преимущественным депонированием в них токсикантов: свинца — в скелете, кадмия — в почках и печени (Ершов, Плетнева, 1989). Печень, почки и очищенные от мышц кости задних конечностей 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. Проанализировано 184 образца, в том числе 73 – скелета, 86 – почек, 25 – печени.

Для сравнительного анализа концентраций изученных элементов в организмах особей рыжей полевки привлечены собственные данные, полученные нами ранее для района Среднеуральского медеплавильного завода: 1412 образцов, в том числе 665 – скелета, 479 – печени, 268 – почек. Подробное описание этого материала дано нами ранее (Мухачева, Безель, 1995; Мухачева, 1996; Мухачева, Тарахтий, 2004).

Материал для анализа (15 особей) по фоновом участку Свердловской области (дер. Шигаево) предоставлен группой популяционной цитогенетики ИЭРиЖ УрО РАН (д. б. н. Э. А. Гилева, С. Б. Раки-тин).

Измерение содержания тяжелых металлов

Концентрации тяжелых металлов в образцах определены методом атомной абсорбции на спектрометре AAS 6 Vario фирмы «Analytik Jena AG» с использованием пламенного и электротермического варианта атомизации в лаборатории популяционной экотоксикологии ИЭРиЖ УрО РАН. Аналитическая лаборатория аккредитована на техническую компетентность и зарегистрирована в государственном реестре РФ (№ РОСС. RU0001.515630).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Депонирование тяжелых металлов в снеговом покрове и лесной подстилке

Анализ загрязнения снегового покрова позволяет оценить актуальное поступление тяжелых металлов. В выпадениях в районе Висимского заповедника преобладают $Fe > Zn > Pb > Cu$; доля $Ni > Cr > Cd > Co$ на порядок ниже, что в целом соответствует структуре выбросов от медеплавильного комбината (табл. 4). Внутри заповедника наиболее загрязнен снежный покров на горных вершинах (площадки БС-1, ПМ, МС-1). Максимальные выпадения тяжелых металлов зарегистрированы на вершине горы Большой Сутук, где содержание элементов достигает уровня буферной зоны возле СУМЗа, но 2–5 раз ниже значений импактной зоны СУМЗа. Снег площадки Г-1 вблизи дер. Большие Галашки наиболее чистый, выпадение металлов здесь соответствует уровню фоновой зоны СУМЗа. По сравнению с фоновыми значениями (площадка Г-1) выпадения на вершине горы Большой Сутук превышены для цинка в 4, меди — 5.7, кадмия — 7.6 и свинца — 8.3 раза. По мере продвижения от вершин гор к их подножию выпадение металлов закономерно убывает и на площадках МС-2 и ЛС-1 достигает фоновых значений. Выпадение металлов на восточном склоне горы Большой Сутук (площадка БС-3) ниже, чем на вершине, но превышает фоновые значения в 2.3–2.9 раза.

Лесная подстилка — одно из основных депо техногенных элементов в экосистеме. Ряды накопления элементов в подстилке ($Fe \geq Zn > Pb > Cu$ и $Ni > Cd > Co \geq Cr$) в основном соответствуют рядам их поступления со снегом (табл. 5). Также аналогично соотношению участков заповедника по степени загрязнения: наиболее высокие значения наблюдаются на площадках БС-1, ПМ, МС-1 (вершины и прилегающие части склонов). Уровень загрязнения подстилок здесь соответствует интервалу от умеренного до фонового загрязнения для территории СУМЗа (табл. 6).

Таблица 4

**Выпадение тяжелых металлов по данным загрязнения снежного покрова
(среднее ± ошибка среднего), мг/м²**

Пробная площадь	Элемент							
	Cu	Cd	Pb	Zn	Fe	Ni	Co	Cr
Галашкинский участок Висимского заповедника								
Г-1	2.37±0.44	0.09±0.01	4.53±0.53	13.48±0.87	22.53±1.10	0.24±0.02	0.05±0.01	0.39±0.02
Сутукский участок Висимского заповедника								
БС-1	13.43±2.17	0.68±0.09	37.62±6.94	53.91±7.11	133.98 ±19.09	1.08±0.12	0.14±0.01	1.51±0.17
БС-3	5.68±0.62	0.23±0.04	13.07±1.93	19.60±3.37	55.25±6.79	0.46±0.08	0.06±0.01	0.95±0.15
ПМ	7.61±0.64	0.37±0.03	19.38±2.22	31.76±2.50	94.19±5.89	0.74±0.06	0.06±0.01	1.44±0.13
ЛС-1	3.03±0.22	0.06±0.01	3.90±0.43	12.19±1.12	44.95±7.05	0.43±0.06	0.06±0.01	0.47±0.07
МС-1	10.12±1.59	0.29±0.05	20.16±3.72	32.34±4.83	81.03±5.36	0.59±0.03	0.18±0.08	0.99±0.08
МС-2	2.67±0.14	0.08±0.01	3.42±0.38	9.37±0.78	40.14±4.68	0.33±0.05	0.09±0.03	0.64±0.04
Участок Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ)								
Фоновая зона (30 км)	2.73±0.24	0.12±0.01	5.31±1.13	7.28±0.49	39.71±3.12	—	—	—
Буферная зона (4 км)	14.33±2.95	1.30±0.34	50.34 ±10.78	45.91 ±12.04	76.08±6.42	—	—	—
Импактная зона (1 км)	25.43±1.69	3.55±0.25	130.04 ±7.16	100.34 ±7.83	214.23 ±22.78	—	—	—

Прочерк означает отсутствие данных. Для Галашкинского и Сутукского участков количество образцов на пробной площади равно 10, для участка СУМЗа — 15; учетная единица при расчете ошибки — образец.

Таблица 5

**Содержание подвижных форм тяжелых металлов в лесной подстилке
(среднее ± ошибка среднего), мкг/г**

Пробная площадь	Элемент							
	Cu	Cd	Pb	Zn	Fe	Ni	Co	Cr
Галашкинский участок Висимского заповедника								
Г-1	17.47±0.53	2.07±0.12	50.54±3.85	263.98 ±19.60	323.86 ±66.52	7.73±0.51	0.86±0.16	1.00±0.20
Сутукский участок Висимского заповедника								
БС-1	59.71±5.46	4.65±0.82	368.17 ±39.97	397.09 ±64.62	298.10 ±26.29	5.29±0.29	0.68±0.13	0.76±0.23
БС-3	39.63±2.68	3.32±0.35	166.03 ±11.65	398.38 ±61.88	633.15 ±206.42	5.25±0.77	1.56±0.45	1.29±0.24
ПМ	41.22±5.04	4.64±0.37	252.47 ±53.48	581.72 ±35.58	326.45 ±76.62	4.84 ±0.30	0.61±0.05	1.11±0.12
ЛС-1	27.96±1.91	2.53±0.11	84.97±6.78	256.35 ±9.38	1000.91 ±161.26	2.92 ±0.16	1.67±0.38	1.58±0.12
МС-1	42.80±1.99	5.42±0.41	200.43 ±14.92	529.03 ±20.26	222.17 ±45.83	4.67 ±0.13	0.74±0.05	1.28±0.09
МС-2	27.95±1.22	2.78±0.27	95.63±8.12	337.52 ±121.34	601.28 ±332.85	3.36±0.33	1.51±0.79	1.21±0.17
Ш-1	38.13±4.74	2.31±0.24	107.61 ±7.77	226.05 ±18.70	282.49 ±40.67	4.48±0.57	0.79±0.13	1.91±0.39
Кировградский участок								
К-1	764.18± 94.24	10.56 ±1.47	768.19 ±70.94	1503.34 ±405.88	1857.69 ±182.93	22.79±3.91	3.09±0.44	1.96±0.33

Количество образцов на пробной площади равно 5; учетная единица при расчете ошибки — образец.

Таблица 6

Содержание в лесной подстилке подвижных форм тяжелых металлов (мкг/г) в разных зонах загрязнения в районе действия Среднеуральского медеплавильного завода

Элемент	Параметр	Зона загрязнения				
		фоновый (N=14, n=42)	слабого (N=98, n=293)	умеренного (N=43, n=129)	сильного (N=30, n=89)	очень сильного (N=23, n=69)
Cu	X±s	67.56±2.88	166.48±4.41	465.92±19.23	1556.77±61.00	4398.91±248.87
	min – max	39.31–123.34	37.19–419.40	101.83–1432.40	661.29–3206.41	1889.65–12121.69
Cd	X±s	3.71±0.15	5.66±0.10	10.26±0.27	17.36±0.45	25.44±1.94
	min – max	2.26–5.47	2.09–12.43	4.92–19.31	5.42–26.41	6.20–80.30
Pb	X±s	56.45±2.18	102.00±2.12	219.23±6.55	547.34±19.19	1082.45±56.72
	min – max	33.45–95.00	32.78–224.27	75.92–496.53	206.69–1122.30	317.53–2347.77
Zn	X±s	481.23±18.67	566.63±8.91	784.92±19.39	1158.87±37.98	1443.63±96.27
	min – max	251.44–727.81	250.77–1097.86	304.12–1434.45	453.57–1950.28	297.14–4194.15

Здесь и в таблице 7: N — количество пробных площадей в пределах зоны, n — количество образцов; X±s — среднее ± ошибка среднего (учетная единица — образец); min — max — минимальное и максимальное значения в пределах зоны (учетная единица — образец).

Максимально высокие значения содержания тяжелых металлов, как и следовало ожидать, обнаружены в подстилке возле Кировградского медеплавильного комбината (пробная площадь К-1).

Сопоставление содержания тяжелых металлов в лесной подстилке возле КМК и СУМЗа свидетельствует о соответствии загрязнения пробной площади К-1 зоне сильного загрязнения СУМЗа (табл. 6, 7).

Таблица 7

Кислотность лесной подстилки (единиц рН_{водный}) и содержание в ней подвижных форм тяжелых металлов (мкг/г) в фоновых районах Свердловской области

Элемент	Параметр	Фоновые районы			
		Национальный парк «Припышминские Борь», Тугулымская дача (N=3, n=15)	пос. Ключи Сысертского района (Биостанция Уральского госуниверситета) (N=13, n=39)	окрестности г. Артемовска (N=13, n=39)	Висимский заповедник, вблизи дер. Большие Галашки (N=13, n=36)
pH	X±s	5.11±0.09	5.44±0.05	5.70±0.05	5.04±0.03
	min – max	4.53–5.70	4.85–5.98	5.21–6.92	4.64–5.47
Cu	X±s	8.5±0.52	33.41±1.84	16.60±0.38	22.41±1.70
	min – max	6.32–12.68	17.63–66.16	12.71–21.86	11.73–69.85
Cd	X±s	0.65±0.07	1.71±0.09	4.11±0.19	2.15±0.04
	min – max	0.03–1.13	0.95–3.32	2.15–7.02	1.67–2.74
Pb	X±s	16.30±1.56	27.14±1.49	24.35±0.93	45.28±3.05
	min – max	8.79–27.23	14.94–51.51	14.15–38.40	21.90–109.18
Zn	X±s	107.47±8.82	253.67±8.95	244.75±11.72	286.89±16.42
	min – max	81.38–217.71	125.07–347.29	149.88–483.38	136.60–586.41

Подстилка на пробной площади Г-1 имеет самые низкие концентрации металлов на территории заповедника (табл. 5), соответствующие уровню фоновой зоны СУМЗа (табл. 6). По сравнению с площадкой Г-1 содержание элементов на вершине горы Большой Сутук превышено для цинка в 1.5, кадмия — 2.2, меди — 3.4, свинца — 7.3 раза. При этом для кадмия и свинца такие уровни загрязнения всего лишь в два раза ниже тех, которые

зарегистрированы вблизи медеплавильного комбината (площадка К-1). Снижение уровней загрязнения от вершины гор к их подножию, зарегистрированное для снега, также заметно и для лесной подстилки. Однако содержание металлов на площадках МС-2, ЛС-1 и Ш-1 несколько (в 1.2–2.1 раза) выше фонового уровня. По сравнению с этими площадками южный склон горы Большой Сутук (БС-3) имеет более выраженное загрязнение.

Хорошо известна высокая пространственная неоднородность распределения тяжелых металлов, особенно при их повышенном поступлении в среду. Поэтому для исключения ситуации, когда зарегистрированное загрязнение в районе горы Большой Сутук представляло бы собой лишь «локальное пятно», мы сопоставили частотные распределения концентраций элементов (рис. 3). Для этого использовали выборки из 36 образцов (13 пробных площадей) в районе дер. Большие Галашки и 35 образцов (7 пробных площадей) в районе горы Большой Сутук (помимо рассмотренных площадок БС-1, ПМ, БС-3 дополнительно в выборку включено еще 4 площади на рассто-

янии от 0.5 до 1.0 км от вершины на восток, запад и север). Сравнение частотных распределений содержания кадмия и свинца для района горы Большой Сутук и Галашкинского участка заповедника (рис. 3) позволяет прийти к заключению об их существенном различии: двусторонний Z-критерий Манна-Уитни для кадмия равен 7.25, $p = 7.3 \times 10^{-19}$, для свинца $Z = 7.41$, $p = 1.6 \times 10^{-21}$. Для других элементов ситуация аналогична: для меди $Z = 6.23$, $p = 5.1 \times 10^{-16}$, для цинка $Z = 5.63$, $p = 1.3 \times 10^{-9}$. Вероятность того, что эти различия случайны, настолько мала, что вряд ли остаются сомнения в факте существенного загрязнения горы Большой Сутук.

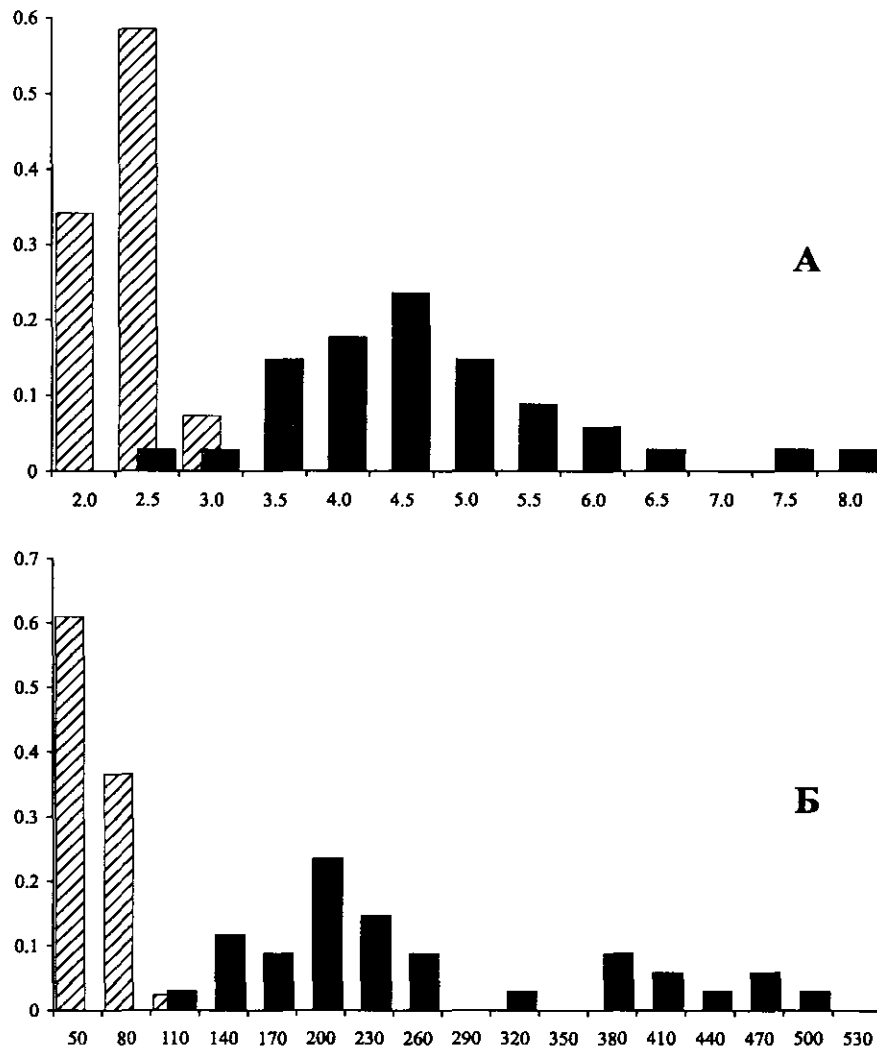


Рис. 3. Эмпирические частотные распределения содержания (мкг/г) в лесной подстилке подвижных форм кадмия (А) и свинца (Б) в районах дер. Большие Галашки (светлые столбики) и горы Большой Сутук (темные столбики). По оси абсцисс — верхняя граница интервала, ординат — доля образцов.

Сопоставление нескольких участков Свердловской области, не подверженных локальному техногенному загрязнению, которые могут рассматриваться как региональные фоновые территории, показывает, что лесные подстилки участка вблизи дер. Большие Галашки имеют более высокие концентрации тяжелых металлов, чем фоновые терри-

тории в других районах области, особенно в отношении свинца. Это говорит о том, что территория Висимского заповедника находится внутри крупного техногеохимического ореола рассеяния тяжелых металлов, простирающегося меридианально вдоль Уральского хребта от г. Ревды до г. Краснотурьинска (табл. 7) и для которого площадка вбли-

зи дер. Большие Галашки может характеризовать региональный геохимический фон.

Кратко остановимся на возможных причинах столь неравномерного распределения поллютантов на территории заповедника. Наиболее правдоподобным объяснением высоких уровней загрязнения в юго-восточной части заповедника мы считаем перехват атмосферных выпадений горными вершинами, поскольку на более равнинных территориях расстояния 15–18 км от ближайших источников выбросов было бы почти достаточно для выхода на региональный фоновый уровень. Барьерная роль гор в условиях промышленных регионов Европы хорошо известна: например, в Судетах вершины, удаленные на значительные (десятки — сотни километров) расстояния от локальных источников, имеют существенно повышенные уровни загрязнения тяжелыми металлами, сопоставимые с теми, которые регистрируются в непосредственной близости от промышленных предприятий (Стржиш, 1999). Дальность переноса конкретных элементов зависит от размера пылевых частиц, на которых они сорбированы. Для рассматриваемых нами металлов известно, что в выбросах плавильных комбинатов свинец конденсируется на частицах меньшего размера по сравнению с медью (Kelley et al., 1995); соответственно, он может переноситься на большие расстояния, тогда как медь выпадает преимущественно возле источников эмиссии. Это может объяснить преимущественное загрязнение свинцом участков на горы Большой Сутук.

Вертикальное распределение тяжелых металлов в почвенном профиле

Анализ вертикального распределения тяжелых металлов в почвенном профиле позволяет косвенно диагностировать их поступления в среду. При

атмосферном (техногенном) пути поступления наблюдается ярко выраженная экспоненциальная зависимость концентраций от глубины с преимущественным депонированием элементов в лесной подстилке и верхних слоях гумусовых горизонтов. При литогенном и биогенном поступлении нет резкого превышения содержания элементов в верхних частях профиля по сравнению с нижними, а повышенные концентрации в горизонтах В и С обычно свидетельствуют о существовании геохимической аномалии естественного происхождения.

Вертикальное распределение в почвенном профиле концентраций кадмия и свинца (элементы слабого биологического захвата) на площадках К-1 и БС-1 показывает, что их аккумуляция носит ярко выраженный техногенный характер с максимально высоким накоплением в подстилке и резким снижением в нижележащих горизонтах (рис. 4).

Заметное вымывание кадмия и свинца вглубь почвенного профиля, заложенного на вершине горы Большой Сутук (разрез БС-1), обусловлено высокой дренированностью и сильно-кислой реакцией среды этой почвы ($pH=4.3-5.02$), обеспечивающей высокую миграционную активность тяжелых металлов, тогда как в почве разреза К-1 среда слабокислая ($pH=6.07-6.32$), при которой миграция гидроксидов свинца и кадмия снижается (Алексеенко, 1989). Консервация тяжелых металлов в подстилке разреза К-1 обусловлена также резким снижением биологической активности и гумусообразования в этой почве. Поскольку в почве разреза Г-1 преобладает кислая среда, миграционная активность металлов в этой почве занимает промежуточное положение, а их низкие концентрации не исключают биогенно-техногенного характера поступления (рис. 4).

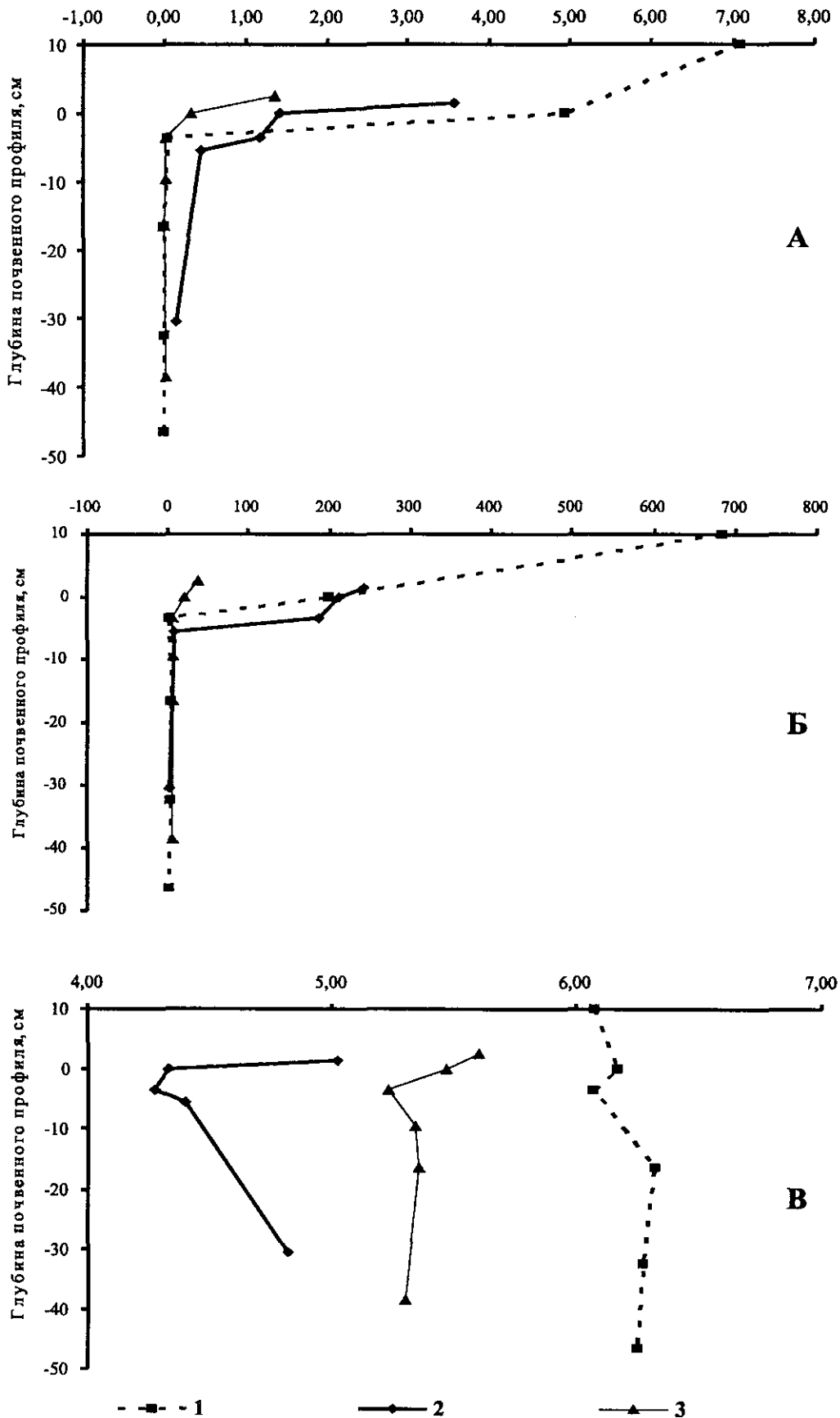


Рис. 4. Вертикальное распределение в почвенном профиле содержания (мкг/г) подвижных форм кадмия (А) и свинца (Б), а также актуальной кислотности (В) (единиц рН) в почвенном профиле. Глубина «0 см» соответствует границе между лесной подстилкой и гумусовым горизонтом. Почвенные разрезы: 1 – около Кировградского медеплавильного комбината (К-1); 2 – вершина горы Большой Сутук (БС-1); 3 – около дер. Большие Галаишки (Г-1).

Особенность геохимической ситуации, которая складывается в районе Висимского заповедника — это загрязнение тяжелыми металлами на фоне выпадений как сернистого ангидрида (от КМК), так и кальцийсодержащей пыли (от Верхнетагильской ГРЭС). В связи с этим формируются участки почвенного покрова как с низкой, так и с высокой кислотностью и, соответственно, подвижностью тяжелых металлов.

Депонирование тяжелых металлов в организме мелких млекопитающих

Высокое содержание тяжелых металлов в почве и подстилке в районе горы Большой Сутук со-

здает предпосылки для их повышенного поступления в организм животных, обитающих на этой территории. Среди широкого спектра тяжелых металлов, загрязняющих природную среду, мы остановились на свинце и кадмии — наиболее токсичных элементах, негативное действие которых на организм млекопитающих широко известно.

Сравнительные данные о концентрациях этих элементов в органах-депо особой рыжей полевки из относительно «чистых» (фоновых) участков, удаленных на значительные расстояния от локальных источников техногенного загрязнения, представлены в таблице 8.

Таблица 8

Концентрация (мкг/г сухой массы) кадмия и свинца в почках, печени и скелете неполовозрелых прирбылых особей рыжей полевки, отловленных на фоновых территориях

Исследованная территория	Анализируемый субстрат			Источник информации
	Почки	Печень	Скелет	
Кадмий				
Средний Урал, (окр. СУМЗа, 20 км от медеплавильного комбината)	3.1±0.3	1.2±0.7	1.1±0.1	Мухачева, 1996
Средний Урал (дер. Шигаево, 90 км от промышленных предприятий)	2.1±0.6	—	—	собственные данные
Средний Урал (Висимский заповедник, гора Малый Сутук, 20 км от медеплавильного комбината)	3.2	0.4	—	Лукьянова, 1990
Северная Швеция (Vindeln, 90 км от предприятия цветной металлургии)	0.2	—	—	Leffler, Nyholm, 1996
Южная Швеция (центральная и южная Скания)	0.5–1.6	0.1–0.7	—	Nyholm, Runling, 2001
Финляндия (окрестности озер Espoo и Hauklampi)	1.2–1.4	0.4–0.5	—	Nuorteva, 1990
Великобритания (Уэльс)	0.3±0.1	0.1±0.03	0.3±0.1	Milton, Cook, Johnson, 2003
Польша (Беловежская пуща)	3.0±0.6	0.6±0.1	0.5±0.04	Sawicka-Kapusta et al., 1987
Польша (Беловежская пуща)	3.2±0.3	1.4±0.2	0.9±0.1	Sawicka-Kapusta et al., 1990
Свинец				
Средний Урал, (окр. СУМЗа, 20 км от медеплавильного комбината)	—	2.2±0.3	17.2±3.0	Мухачева, 1996
Северная Швеция (Vindeln, 90 км от предприятия цветной металлургии)	0.5	—	—	Leffler, Nyholm, 1996
Южная Швеция (центральная и южная Скания)	0.2–2.7	0.1–0.6	—	Nyholm, Runling, 2001
Великобритания (Уэльс)	3.2±0.8	0.6±0.1	0.3±0.1	Milton, Cook, Johnson, 2003
Польша (Беловежская пуща)	12.3±1.8	3.9±0.2	14.0±0.6	Sawicka-Kapusta et al., 1987
Польша (Беловежская пуща)	16.5–40.0	3.7±1.0	9.5–35.3	Sawicka-Kapusta et al., 1990

Хорошо известно, что концентрации свинца и кадмия в депонирующих органах сильно зависят от возраста животных, а также их пола и физиологического состояния. В большинстве работ информация по уровням накопления тяжелых металлов для рыжей полевки приведена только для неполовозрелых сеголетов. Поэтому для сравнения собственные данные (табл. 8 и 9), также приведенные для зверьков этой функционально-возрастной

группы. В большинстве цитируемых работ анализируемая выборка составляет 10–15 экземпляров. Собственные данные основаны на результатах более многочисленных индивидуальных анализов: в районе Висимского заповедника (пробная площадь БС-3) в зависимости от анализируемого органа выборка включала 25–43 экз., в окрестностях СУМЗа — от 15–30 (для импактной зоны) до 85–190 (для фонового участка).

Таблица 9

Концентрация (мкг/г сухой массы) кадмия и свинца в почках, печени и скелете неполовозрелых прирбылых особей рыжей полевки, отловленных на территориях, прилегающих к металлургическим и горнодобывающим предприятиям

Исследованная территория	Анализируемый субстрат			Источник информации
	Почки	Печень	Скелет	
Кадмий				
Средний Урал, (окр. СУМЗа, 1–2 км от медеплавильного комбината)	22.6±3.8	10.1±1.5	1.6±0.4	Мухачева, 1996
Средний Урал, (окр. СУМЗа, 4–6 км от медеплавильного комбината)	22.2±1.8	12.5±0.8	1.4±0.2	Мухачева, 1996
Средний Урал (Висимский заповедник, гора Большой Сутук, 18 км от медеплавильного комбината)	8.1±0.9	1.5±0.3	1.7±0.2	собственные данные
Северная Швеция (Вигон, 4 км от предприятия цветной металлургии)	6.4	—	—	Leffler, Nyholm, 1996
Великобритания (Западный Уэльс, бывший рудник, добывавший Pb-содержащую руду)	1.9±0.6	0.3±0.01	0.6±0.2	Milton, Cook, Johnson, 2003
Польша (окр. Кракова, в 10 км от металлургического комбината)	4.0±0.6	1.9±0.5	0.6±0.1	Sawicka-Kapusta et al., 1987
Польша (Верхняя Силезия)	29.6±7.7	12.8±2.6	0.2±0.02	Sawicka-Kapusta et al., 1990
Свинец				
Средний Урал, (окр. СУМЗа, 1–2 км от медеплавильного комбината)	—	5.4±0.7	53.5±15.6	Мухачева, 1996
Средний Урал, (окр. СУМЗа, 4–6 км от медеплавильного комбината)	—	3.5±0.4	37.1±4.2	Мухачева, 1996
Средний Урал (Висимский заповедник, гора Большой Сутук, 18 км от медеплавильного комбината)	—	1.7±0.2	26.0±2.4	собственные данные
Северная Швеция (Вигон, 4 км от предприятия цветной металлургии)	0.7	—	—	Leffler, Nyholm, 1996
Великобритания (Западный Уэльс, бывший рудник, добывавший Pb-содержащую руду)	16.1±3.7	8.0±0.8	203±13.1	Milton, Cook, Johnson, 2003
Польша (окр. Кракова, в 10 км от металлургического комбината)	12.7±4.4	8.8±5.0	14.3±5.0	Sawicka-Kapusta et al., 1987
Польша (Верхняя Силезия)	20.7±5.0	11.5±1.3	25.6±3.6	Sawicka-Kapusta et al., 1990

На основании представленных материалов можно заключить, что значения, зарегистрированные у зверьков на фоновых территориях Среднего Урала (в том числе, в районе горы Малый Сутук), сравнимы со значениями фоновых участков Восточной Европы (Беловежская пуща), прилегающих к территориям с интенсивным развитием промышленности, но выше, чем в Северной Европе.

Концентрации токсикантов в депонирующих органах рыжей полевки с площади БС-3 Висимского заповедника в 1.5–3.9 раза превышают значения регионального фона и приближаются к уровням, зарегистрированным другими авторами для индус-

триальных районов Европы (табл. 9). В целом, величины накопления свинца и кадмия на площади БС-3 можно охарактеризовать как средние (буферные) значения, которые обычно отмечаются у зверьков, населяющих территории на удалении 5–15 км от мощных источников загрязнения.

Поскольку в нашем распоряжении была выборка животных, принадлежащих к разным функционально-возрастным группам и добытых в течение всего бесснежного периода (с мая по октябрь), мы рассмотрели временную зависимость накопления токсикантов в организме (на примере кадмия в почках и свинца в скелете) (рис. 5).

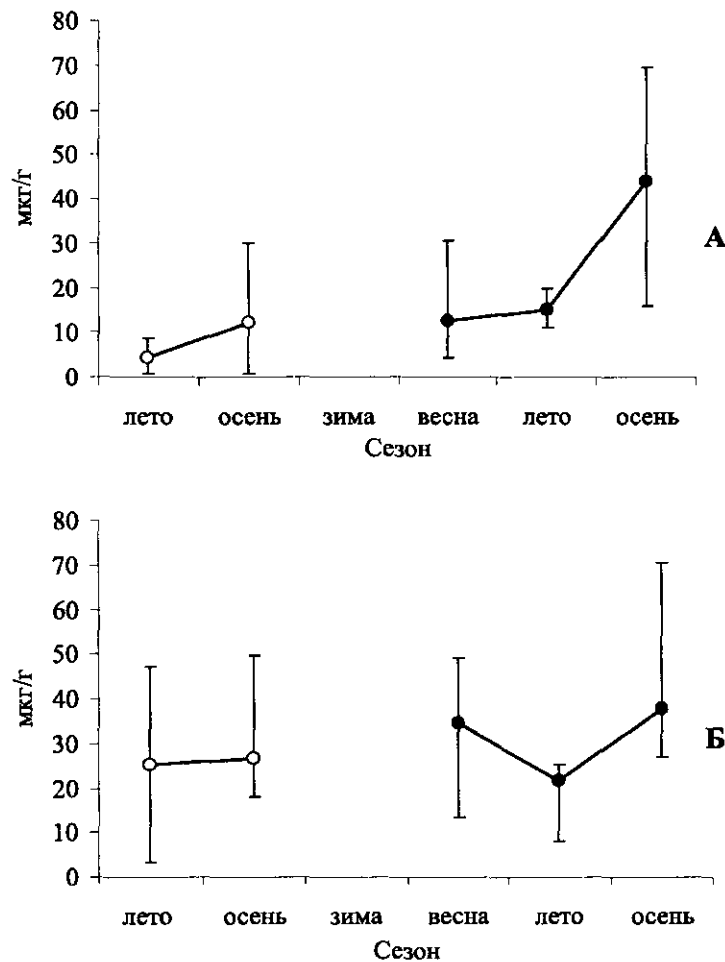


Рис. 5. Изменение концентрации (средняя, вертикальные линии — минимальные и максимальные значения) (мкг/г) кадмия в почках (А) и свинца в костях (Б) особей рыжей полевки в течение жизненного цикла (Висимский заповедник, пробная площадь БС-3, 2004 г.). Светлые кружки — сеголетки, темные кружки — перезимовавшие особи.

На протяжении жизненного цикла уровни накопления кадмия в почках существенно возрастают. Так, у молодых неполовозрелых зверьков (в возрасте 1–3 месяцев) концентрация в среднем составляла 4.1 мкг/г сухой массы, к октябрю (4.5–5.5 месячные животные) концентрация увеличилась до 12.2 мкг/г (рис. 5 А).

Известно, что неполовозрелые животные составляют наиболее устойчивую часть популяции, их основная «функция» — с наименьшими поте-

рями пережить неблагоприятные периоды (в том числе, зимовку). Интенсивность метаболизма у зверьков этой группы ниже по сравнению с размножающимися животными двух других функционально-возрастных групп (Оленев, 1989). Кроме того, в зимний период происходят существенные изменения как в кормовом спектре, так и в длительности непосредственного контакта животных с поллютантом (за счет незначительного времени пребывания полевков на поверхности снежно-

го покрова). Поэтому логично предположить, что в течение зимовки, с одной стороны, темпы накопления токсикантов снижаются, с другой — из населения элиминируются «пораженные» особи с повышенным содержанием токсикантов в организме. Косвенно об этом свидетельствует тот факт, что концентрации в октябре у зверьков, «уходящих» в зиму, близки к обнаруженным у успешно перезимовавших особей в апреле-мае.

Весной начинается интенсивный рост зверьков, они в короткие сроки достигают размеров взрослых животных и практически все приступа-

ют к размножению. Уровень метаболизма у таких особей существенно возрастает, соответственно, увеличивается потребление корма и поступление с ним токсикантов. Все это отражается на концентрациях кадмия в почках: от весны к осени она возрастает в среднем в 3.5 раза (с 12.7 до 44.0 мкг/г сухого веса). У отдельных, наиболее старых особей (в возрасте 520-580 дней) уровни накопления достигают очень высоких значений (64.1–69.5 мкг/г), которые превышают средние величины у перезимовавших рыжих полевок из импактной зоны возле СУМЗа (рис. 6).

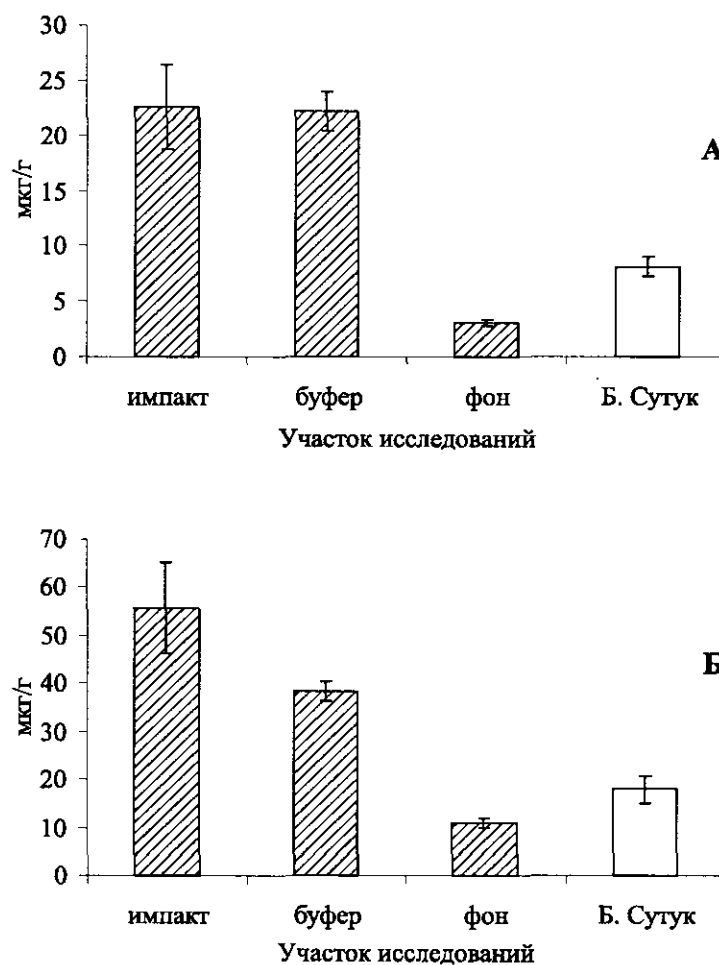


Рис. 6. Концентрации (среднее \pm ошибка среднего) кадмия (мкг/г) в почках неполовозрелых прибылых (А) и перезимовавших (Б) особей рыжей полевки пробных площадей около СУМЗа (темные столбики) и пробной площади БС-3 (светлый столбик).

Динамика накопления свинца в скелете рыжих полевок в целом сходна с тенденциями, описанными для кадмия. Максимальные концентрации зарегистрированы у перезимовавших особей (36.8 ± 2.5 мкг/г), минимальные — у неполовозрелых прибылых зверьков (26.0 ± 2.4 мкг/г). На протяжении жизненного цикла наблюдается постепенное почти двукратное увеличение концентрации (рис. 5 Б). В группе неполовозрелых сеголеток в течение летне-осеннего периода интенсивного накопления свинца не отмечается (25.8 – 26.6 мкг/г), за время зимовки содержание элемента в скелете возрастает

примерно на 20 %, а к осени увеличивается еще на 40 %, достигая концентрации 46.0 мкг/г у наиболее старых зверьков (в возрасте 16 месяцев и старше). Некоторое снижение концентрации свинца у перезимовавших особей в летний период, вероятно, обусловлено малой выборкой животных этой группы, представленной в анализе.

Возможные токсические эффекты

Содержание свинца в окружающей среде невелико, однако, вследствие его интенсивного использования в промышленности он получил широкое

распространение в форме различных соединений. На сегодняшний день свинец относится к группе наиболее распространенных и токсичных тяжелых металлов (Singhal et al., 1987; Cabridenic et al., 1994). Кадмий в природе в свободном виде не встречается и не образует специфических руд, его получают как сопутствующий продукт при очистке цинка и меди (Москалев, 1985; Ершов, Плетнева, 1989). Основной путь поступления в организм кадмия — с пищей, свинца — как через желудочно-кишечный тракт, так и респираторно. Несмотря на то, что не более 10% токсикантов, поступивших в организм млекопитающих с кормом сорбируется через желудочно-кишечный тракт и около 40% свинца, попавшего в легкие переходит в кровяное русло, при длительной экспозиции наблюдаются значительные негативные изменения в организме млекопитающих (Москалев, 1985; Ершов, Плетнева, 1989; Piotrowski, Coleman, 1980; Piscator, 1985; Zakrzewska, 1988; Talmage et al., 1990 и др.).

Согласно литературным данным наиболее чувствительный орган по отношению к хроническому действию кадмия — это почки, в которых инкорпорируется до 30% элемента, присутствующего в организме (Mueller, 1993). Наиболее ранние эффекты негативного действия этого токсиканта на почки были зарегистрированы у особей рыжей полевки, населяющих техногенно загрязненные местообитания в 4 км от завода по выплавке полиметаллических руд на севере Швеции: при концентрации элемента в почках от 4 мкг/г и выше у зверьков обнаруживалась полиурия, повышенная протеинурия, а также нарушения микроструктуры почечных канальцев (Lefler, Nyholm, 1996). У лабораторных крыс подобные эффекты обнаружены при концентрациях кадмия в почках от 10 мкг/г и выше (Chmielnicka et al., 1989). О гистопатологических изменениях в почках (фокальной дегенерации проксимальных канальцевых клеток) и печени (внутриклеточной гранулеме, фокальном отеке гепатоцитов) рыжих полевок при хронической интоксикации кадмием сообщают и другие исследователи (Nomiyama, Nomiyama, 1986; Goyer et al., 1989; Swiergosz et al., 1998; Shore, Douben, 1994b; Cook, Johnson, 1996; Wlostowski, Krasowska, 1999; Griffin et al., 2000), но критические концентрации кадмия оцениваются ими как 35–40 мкг/г и выше. Кадмий разрушает также легкие, нарушает метаболизм кальция, приводя к остеопорозу и остеомаляции. Существенное негативное прямое (как показывают результаты лабораторных экспериментов) воздействие кадмий оказывает и на репродукцию млекопитающих, вызывая специфические селективные повреждения в тестикулах, эпидидимисе, неовулирующих яичниках и плаценте, приводя к деформации плода и спонтанным абортam (Levin et al., 1983; Mattison, 1983; Paksy et al., 1990 и др.). По данным J Parizek (1983) в основе действия кадмия на гонады самцов лежат патологические из-

менения эндотелия сосудов в семенниках и разрушение сперматогенного эпителия. При суточном поступлении этого элемента в дозе 0.15 мкг/г массы тела в семенниках грызунов наблюдаются геморрагические некрозы тканей (Nolan, Scaikh, 1986). Другими авторами показано, что кадмий вызывает васкулярную деструкцию семенников (Sugawara et al., 1989; Chubb, 1992), а также может приводить к уменьшению диаметра семенных канальцев (Corpas, Antonio, 1998).

Наиболее ранние эффекты вредного действия свинца на организм млекопитающих обнаруживаются в тех системах, органах и тканях, которые абсорбируют элемент при его поступлении внутрь. В первую очередь, отмечаются нарушения в системе крови и дегенеративные изменения в слизистой тонкого кишечника, далее поражаются нервная и репродуктивная системы (Shore, Douben, 1994a). Хроническое поступление свинца у самцов приводит к нарушениям сперматогенеза, снижению функции клеток Лейдига, дисфункции семявыводящих канальцев (Saxena, 1988; McGregor, Mason, 1990). Действие свинца на генеративную систему самок приводит к нарушениям эстрального цикла, а также глубоким дегенеративным изменениям в фолликулярном аппарате (Тарабаева, 1960). Преодолевая плацентарный барьер, свинец может приводить к деформации плода и спонтанным абортam. По данным W.C. Ma с соавторами (1989, 1996) критические уровни свинца в тканях, вызывавшие клинические проявления составляли для почек от 15–25 мкг/г, для печени от 5–10 мкг/г сухой массы. Длительное поступление токсикантов в организм на протяжении постнатального периода развития приводит к снижению темпов роста организма, нарушениям развития молодняка, а также к увеличению смертности животных. Так, например, в эксперименте на рыжих полевках было показано, что в группе, получавшей корм с высоким содержанием свинца замедлялся рост молодняка, изменялись пропорции тела (большая голова/маленькое туловище), повышалась гибель детенышей (41.2%) в первые 15 дней жизни (Zakrzewska, 1988).

При наличии в рационе животных одновременно нескольких токсикантов следует учитывать возможное сочетанное действие, о чем свидетельствуют экспериментальные данные. Так, например, эмбриотоксический эффект кадмия (при ежедневном внутрижелудочном введении крысам в дозах 7.5–15.0 мкг/г массы тела) при дополнительном поступлении в организм животных свинца с питьевой водой в течение всего периода беременности (в дозе 0.3 мг/л) увеличился вдвое (Казачков и др., 1989).

Попробуем для рассматриваемой выборки с площадки БС-3 оценить условную долю «пораженных» зверьков вследствие повышенного накопления токсикантов. Для этого используем литературные данные о критических концентрациях кадмия для мышевидных грызунов. Если принять

в качестве такого «пограничного» уровня концентрации в почках, равную 4 мкг/г сухой массы (Leffler, Nyholm, 1996), то доля «пораженных» зверьков составляет около 80 % от всей выборки. Если провести границу на уровне 10 мкг/г (Chmielnicka et al., 1989), то доля «пораженных» особей равна 35 %. Наконец, даже если рассматривать в качестве критической концентрации кадмия в почках на уровне 35 мкг/г (Nomiya, Nomiya, 1986; Goyer et al., 1989), «пораженная» часть анализируемой выборки составляет около 3 %.

В литературе нам не удалось найти данных о критических уровнях свинца в скелете для рыжей полевки. Для сравнения мы использовали собственные данные (Мухачева, Безель, 1995; Мухаче-

ва, 1996) по накоплению этого элемента у особей рыжей полевки, населяющих участки с разной степенью химического загрязнения в окрестностях крупного медеплавильного комбината (СУМЗ). Концентрация свинца в скелете зверьков всех возрастных групп, добытых на территории площадки БС-3, превышает средние фоновые значения района СУМЗа (11.9–17.2 мкг/г) у 100 % перезимовавших и более чем у 80 % прибылых особей (рис. 7). Около 10 % перезимовавших особей и 16 % сеголеток имеют уровни, превышающие средние «буферные» значения района СУМЗа (37.1–61.5 мкг/г для прибылых и перезимовавших особей соответственно), зарегистрированные у зверьков, добытых на удалении 4–6 км от источника эмиссии.

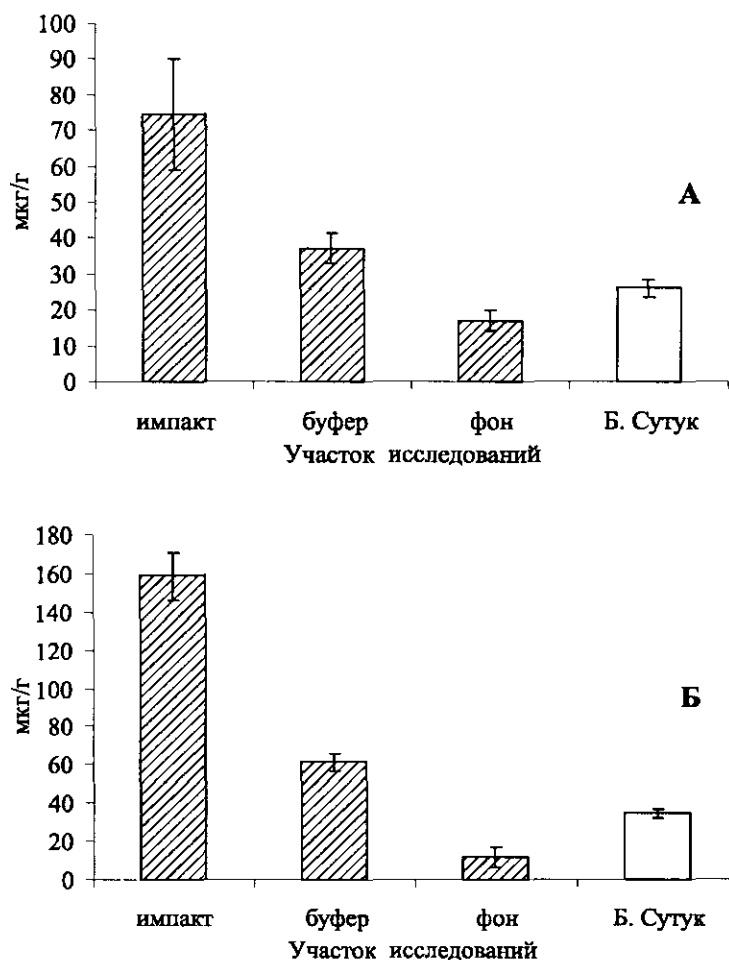


Рис. 7. Концентрации (среднее \pm ошибка среднего) свинца (мкг/г) в скелете неполовозрелых прибылых (А) и перезимовавших (Б) особей рыжей полевки пробных площадей около СУМЗа (темные столбики) и пробной площади БС-3 Сутукского участка (светлый столбик).

Таким образом, особи рыжей полевки, населяющие склоны горы Большой Сутук, имеют повышенные концентрации кадмия и свинца в органах их преимущественного депонирования. Сравнительный анализ уровней накопления изученных элементов с данными по другим территориям позволяет охарактеризовать их как буферные значения — промежуточные между фоновыми и импактными. При таких уровнях у значительной части

населения мелких млекопитающих вероятно наличие эффектов токсического поражения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов можно заключить, что территория Висимского заповедника по уровням химического загрязнения очень неоднородна. В силу сложной орографии местности,

горные вершины, перехватывающие атмосферные осадки, перераспределяют локальные и региональные выпадения и формируют повышенные модули поступления промышленных поллютантов. Первая и наиболее высокая возвышенность на пути атмосферного переноса поллютантов от Кировградского медеплавильного комбината и Верхнетагильской ГРЭС — это гора Большой Сутук, где зарегистрированы максимальные уровни химического загрязнения на территории заповедника. Данный вывод базируется на прямых измерениях содержания тяжелых металлов как в природных депонирующих средах (снег, лесная подстилка), так и органах-депо мелких млекопитающих. Поэтому мы считаем его корректным. Характер вертикального распределения тяжелых металлов в почвенном профиле позволяет надежно диагностировать атмосферный, а не литогенный путь поступления элементов. Степень химического загрязнения в районе горы Большой Сутук может быть охарактеризована как средняя (буферная); она сопоставима с величинами, которые на более равнинных территориях отмечают на расстоянии 4–7 км от сравнимых по объемам выбросов промышленных предприятий и при которых регистрируют эффекты токсического поражения у значительной части населения мелких млекопитающих. Уровень химического загрязнения других участков заповедника, находящихся либо значительно дальше от источников выбросов (западная часть заповедника в районе дер. Большие Галашки), либо в тени горных вершин (склоны гор Малый Сутук и Липовый Сутук, пойма реки Медвежка) может быть охарактеризован как фоновый.

Полученные нами результаты заставляют внести существенные коррективы в историю изучения мелких млекопитающих Висимского заповедника. Исследования, которые в разные годы проводили в районе горы Большой Сутук К. И. Бердюгин, Ю. А. Давыдова, И. А. Кшнясев, Е. В. Михеева — это работы в области экологической токсикологии, даже если сами авторы и не интерпретировали полученные результаты таким образом.

Сделанные нами выводы отнюдь не умаляют значимости Висимского заповедника, созданного с целью сохранения и изучения природного комплекса среднеуральской горной тайги. Территория заповедника с массивами первобытных пихтово-еловых лесов, уцелевших от рубок и пожаров в течение почти трехсотлетнего освоения района Горнозаводского Урала — это, вне сомнений, уникальный природный полигон для комплексных исследований биоты. Наличие близко расположенных длительно действующих промышленных предприятий и соседство на относительно небольшой территории заповедника как фоновых, так и загрязненных участков, позволяет вычленивать в «рафинированном» виде эффекты токсической нагрузки, исключая другие антропогенные

воздействия (рекреацию, рубки леса, выпас скота и др.). Это придает Висимскому заповеднику еще бо́льшую роль — уникального экотоксикологического исследовательского полигона.

Авторы благодарны администрации и сотрудникам отдела охраны леса Висимского заповедника за содействие и поддержку полевых работ, И. Ф. Вурдовой и Ю. Ф. Марину за помощь в сборе снеговых проб, И. А. Литовскому и О. А. Новиковой за помощь в сборе почвенных проб, Ю. Г. Смирнову и О. В. Дуле за пробоподготовку снеговых и почвенных проб, Э. Х. Ахуновой за определение тяжелых металлов в образцах.

Работа завершена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 06-04-48359), Фонда содействия отечественной науке (Е. Л. Воробейчик) и программы развития ведущих научных школ РФ (НШ-5286.2006.4).

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. — М.: Высшая школа, 1989. 304 с.
- Аринушкина В. В. Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во МГУ, 1962. 549 с.
- Большаков В. Н., Васильев А. Г., Шарова Л. П. Фауна и популяционная экология землероек Урала (Mammalia, Soricidae). — Екатеринбург: «Екатеринбург», 1996. 267 с.
- Бердюгин К. И. К фауне грызунов Висимского заповедника // Инф. материалы Среднеуральского биогеоценотического стационара. — Свердловск, 1975. С. 75–78.
- Бердюгин К. И. Рыжая полевка Висимского заповедника // Фауна Урала и Европейского Севера. — Свердловск, 1976. С. 23–25.
- Бердюгин К. И. Грызуны верхних поясов Уральских гор / Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Екатеринбург, 1996. 14 с.
- Бердюгин К. И., Кузнецова И. А., Шарова Л. П. Сообщества грызунов низкогорий Среднего Урала // Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: Материалы конф. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 1996. С. 35–38.
- Бердюгин К. И., Кузнецова И. А., Шарова Л. П. Материалы по динамике структуры сообществ и численности грызунов Висимского заповедника // Состояние и динамика природных комплексов особо охраняемых территорий Урала: Тез. докл. науч. — практ. конф., посв. 70-летию Печоро-Ильинского государственного природного заповедника. — Сыктывкар, 2000. С. 13–15.
- Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). — Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 280 с.
- Давыдова Ю. А. Демографические характеристики популяции рыжей полевки Висимского заповедника // Исследования эталонных природных комплексов Урала. (Материалы конф., посвященной 30-летию Висимского заповедника). — Екатеринбург: «Екатеринбург», 2001. С. 281–284.

- Давыдова Ю. А. Сезонные и патологические изменения в семенниках рыжей полевки в течение репродуктивного периода // Экологические проблемы горных территорий: Материалы Межд. науч. конф. — Екатеринбург: «Академкнига», 2002. С. 256-259.
- Давыдова Ю. А. Морфо-функциональное состояние семенников рыжей полевки при разных уровнях численности популяции // Териофауна России и сопредельных территорий (VII съезд Териологического общества). Материалы Межд. совещ. — Москва, 2003. С. 103.
- Давыдова Ю. А., Кшнясев И. А. Популяционные циклы европейской рыжей полевки в южной тайге (Средний Урал, Висимский заповедник, первобытные леса) // Тез. докл. Сиб. зоол. конф. — Новосибирск, 2004. С. 244-245.
- Ершов Ю. А., Плетнева Т. В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. — М.: Медицина, 1989. 272 с.
- Казачков В. М., Астахова Л. Ф., Гасимова З. М. Химические факторы окружающей среды малой интенсивности как условия развития нарушений репродуктивной функции // Пробл. мониторинга за здоровьем населения пром. городов: Тез. докл. Всес. науч. конф. — Ангарск, 1989. С. 77.
- Кайгородова С. Ю. Влияние аэрогенных выбросов Кировградского промузла на почвы сопряженных ландшафтов // Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: Материалы конф. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 1996а. С. 52-54.
- Кайгородова С. Ю. Влияние аэротехногенных выбросов на устойчивость южнотаежных почв // Проблемы общей и прикладной экологии: Материалы конф. — Екатеринбург, 1996б. С. 92-102.
- Карасева Е. В., Телицына А. Ю. Методы изучения грызунов в полевых условиях: Учеты численности и мечение. — М.: Наука, 1998. 227 с.
- Кузнецова И. А., Бердюгин К. И., Шарова Л. П. Анализ структуры населения грызунов в районе строительства Сулемского водохранилища // Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: Материалы конф. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 1996. С. 58-60.
- Кузнецова И. А. Состояние населения грызунов на территории среднего течения реки Сулем за период 1986-1999 годов // Состояние и динамика природных комплексов особо охраняемых территорий Урала: Тез. докл. науч. — практ. конф. — Сыктывкар, 2000. С. 88-89.
- Кузнецова И. А., Коурова Т. П., Жумашева А. М., Суслова В. В. Результаты долговременных учетов полевков Висимского заповедника // Исследования эталонных природных комплексов Урала: Материалы конф., посвященной 30-летию Висимского заповедника. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 2001. С. 302-306.
- Кузнецова И. А. Восстановление видового состава населения полевков Висимского заповедника после ветровала 1995 года // Экологические проблемы горных территорий: Материалы Межд. науч. конф. — Екатеринбург: «Академкнига», 2002. С. 176-178.
- Кшнясев И. А. Динамика населения мышевидных грызунов на стационарной площадке в первобытных лесах Висимского заповедника // Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: Материалы конф. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 1996. С. 60-62.
- Кшнясев И. А. Динамика населения мелких млекопитающих на стационарной площадке // Актуальные проблемы лесоведения: Тез. докл. — Екатеринбург, 1996. С. 33-35.
- Кшнясев И. А., Давыдова Ю. А. Динамика плотности и структуры популяций лесных полевков в южной тайге // Вестник Нижегородского ун-та им. Н. И. Лобачевского. Серия Биология. Вып. 1 (9). — Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. С. 113-123.
- Лукьянец А. И., Шелковникова Т. А. Влияние загрязнения атмосферы дыми-газовыми эмиссиями на леса, прилежащие с востока к Висимскому заповеднику // Инф. материалы Среднеуральского биогеоценологического стационара. — Свердловск, 1975. С. 29-32.
- Лукьянец А. И. Состояние загазованных лесов в районе городов Верхнего Тагила и Кировграда // Популяционные и биогеоценологические исследования в горных темнохвойных лесах Среднего Урала. — Свердловск, 1979. С. 147-165.
- Лукьянов О. А. Оценка плотности и миграционных эффектов мелких млекопитающих линейными методами отлова // Исследования природы в заповедниках Урала. Инф. материалы. — Свердловск, 1987. С. 33-36.
- Лукьянова Л. Е. Экологическая характеристика и особенности населения мелких млекопитающих в условиях техногенного воздействия // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. — Екатеринбург, 1990. 24 с.
- Лукьянов О. А., Лукьянова Л. Е. Динамика показателей обилия и пространственной структуры населения рыжей полевки на фоновой и техногенных территориях // Млекопитающие в экосистемах. — Свердловск, 1990. С. 37-39.
- Лукьянов О. А. Анализ зависимости подвижности — оседлости и численности флуктуирующей популяции рыжей полевки Висимского заповедника // Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: Материалы конф. — Екатеринбург, 1996. С. 60-62.
- Лукьянова Л. Е., Лукьянов О. А. Характеристика обилия и пространственной структуры населения рыжей полевки на техногенных территориях // Животные в условиях антропогенного ландшафта. — Екатеринбург, 1992. С. 85-95.
- Лукьянова Л. Е., Лукьянов О. А. Реакция сообществ и популяций мелких млекопитающих на техногенные воздействия. 1. Сообщества // Усп. совр. биол. 1998а. Т. 118, вып. 5. С. 613-622.
- Лукьянова Л. Е., Лукьянов О. А. Реакция сообществ и популяций мелких млекопитающих на техногенные воздействия. 2. Популяции // Усп. совр. биол. 1998б. Т. 118, вып. 6. С. 693-706.
- Лукьянова Л. Е., Лукьянов О. А. Сообщества мелких млекопитающих в меняющихся условиях среды обитания на территории Висимского заповедника // Исследования эталонных природных комплексов Урала: Материалы конф., посвященной 30-летию Висимского заповедника. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 2001. С. 311-316.
- Лукьянов О. А., Лукьянова Л. Е. Феноменология и анализ миграций в популяциях мелких млекопитающих // Зоол. журн. 2002. Т. 81, вып. 9. С. 1107-1134.

- Марвин М. Я. Материалы по мышевидным грызунам Висимского района Свердловской области // Уч. зап. Урал. Гос. ун-та. Сер. биол. Вып. 31. — Свердловск, 1959. С. 74–79.
- Марин Ю. Ф. Результаты инвентаризации фауны млекопитающих Висимского заповедника // Исследования природы в заповедниках Урала. Инф. материалы. — Свердловск, 1987. С. 43–46.
- Марин Ю. Ф. К организации экологического мониторинга в районе Висимского заповедника // Исследования природы в заповедниках Урала: Инф. материалы — Свердловск, 1990. С. 45–47.
- Марин Ю. Ф. Проект программы работ по экологическому мониторингу загрязнения территории Висимского заповедника // Исследования природы в заповедниках Урала: Инф. материалы. — Свердловск, 1992а. С. 23–26.
- Марин Ю. Ф. О многолетних и сезонных изменениях численности рыжей полевки в Висимском заповеднике // Исследования природы в заповедниках Урала: Инф. материалы. — Свердловск, 1992б. С. 27–30.
- Марин Ю. Ф. О влиянии Кировградского медькомбината на природу // Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: Материалы конф. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 1996. С. 87–91.
- Марин Ю. Ф. Основные результаты учетов мелких млекопитающих на постоянных учетных линиях в Висимском заповеднике в 1982–2000 гг. // Исследования эталонных природных комплексов Урала: Материалы конф., посвященной 30-летию Висимского заповедника. — Екатеринбург: «Екатеринбург», 2001. С. 337–346.
- Михеева Е. В., Жигальский О. А., Мамина В. П. Эколого-физиологические особенности рыжей полевки в районе естественной геохимической аномалии // Методы популяционной биологии: Материалы VII Всерос. популяционного семинара. — Сыктывкар, 2004. Ч. 1. С. 141–143.
- Михеева Е. В., Жигальский О. А. Факторы динамики морфофизиологических показателей рыжей полевки // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы Всерос. конф. — Йошкар-Ола, 2004. С. 227–229.
- Михеева Е. В., Байтиминова Е. А. Механизмы адаптации рыжей полевки к экстремальным геохимическим условиям // Экология: от генов до экосистем: Материалы конф. — Екатеринбург, 2005. С. 167–170.
- Москалев Ю. И. Минеральный обмен. — М.: Медицина, 1985. 288 с.
- Мухачева С. В. Экоотоксикологические особенности и структура населения мелких млекопитающих в градиенте техногенного загрязнения среды // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. — Екатеринбург, 1996. 26 с.
- Мухачева С. В. Особенности питания рыжей полевки в условиях техногенного загрязнения среды обитания // Сиб. эколог. журн. 2005. № 3. С. 523–533.
- Мухачева С. В., Безель В. С. Уровни токсических элементов и функциональная структура популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения (на примере рыжей полевки) // Экология. 1995. № 3. С. 237–240.
- Мухачева С. В., Давыдова Ю. А. К возможным причинам патоморфологических изменений в семенниках рыжей полевки // Уч. зап. НТГСПА. — Нижний Тагил, 2006 (в печати).
- Мухачева С. В., Тарахтий Э. А. К оценке состояния неполовозрелых особей рыжей полевки в градиенте техногенного загрязнения среды // Экология промышленного региона и экологическое образование: Материалы конф. — Нижний Тагил, 2004. С. 147–153.
- Оленев Г. В. Функциональная детерминированность онтогенетических изменений возрастных маркеров грызунов и их практическое использование в популяционных исследованиях // Экология. 1989. № 2. С. 19–31.
- Полявина О. А. Хромосомная нестабильность и иммуногематологические показатели у грызунов, обитающих на территориях с повышенным содержанием тяжелых металлов в природных средах // Экология: от генов до экосистем: Материалы конф. — Екатеринбург: «Академкнига», 2005. С. 217–221.
- Степанов А. М., Кабиров Р. Р., Чернькова Т. В. и др. Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы южной тайги. — М.: ЦЕПЛ, 1992. 246 с.
- Стржиш З. Загрязнение горных почв Польши тяжелыми металлами как результат антропогенного пресса // Изв. АН. Сер. биол. 1999. № 6. С. 722–735.
- Тарабаева Г. И. Действие свинца на мужские и женские половые железы // Тр. Казах. ин-та краевой патологии. 1960. Т. 8. С. 101–117.
- Турков В. Г., Колесников Б. П. Очерк природы Висимского государственного заповедника // Популяционные и биогеоэкологические исследования в горных темнохвойных лесах Среднего Урала. — Свердловск, 1977. С. 5–46.
- Шарова Л. П. Видовой состав и численность землероек Висимского заповедника // Всесоюз. совещ. по проблеме кадастра и учета животного мира: Тез. докл. — Уфа, 1989. Ч. 2. С. 119–121.
- Шарова Л. П., Кузнецова И. А. Материалы по фауне и биотопическому распределению насекомых Висимского заповедника // Исследования природы в заповедниках Урала. Инф. материалы. — Свердловск, 1987. С. 74–77.
- Cabridenic R., Cfrbonnier F., Cordonnier J., Legenti L., Rizet M Le plomb dans l'environnement // Techn., sci., meth. 1994. N 2. P. 64–69.
- Chmielnicka J., Halatec T., Jedlinska U. Correlation of cadmium induced nephropathy and the metabolism of endogenous copper and zinc in rats // Ecotoxicol. Environ. Safety, 1989. Vol. 18. P. 268–276.
- Chubb C. Reversibility of damage to testicular vasculature resulting from exposure to toxic agents // Reversibility in Testicular Toxicity Assessment / Scialli A. R., Clegg E. D. (Eds.). Boca Raton, FL, CRC. 1992. P. 128–143.
- Cook J. A., Johnson M. S. Cadmium in small mammals // Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations / Beuer W. N., Heinz G., Redmond-Norwood A. (Eds.). — Lewis, Boca Raton, 1996. P. 377–388.
- Corpas J., Antonio M. T. Study of alternations produced by cadmium and cadmium/lead administration during gestational and early lactation periods in the reproductive organs of the rat // Ecotoxicol. Environ. Safety, 1998. Vol. 41. P. 180–188.
- Gouer A. R., Miller C. R., Zhu R. Y., Victory W. Nonmetallothionein-bound cadmium in the pathogenesis of cadmium

- nephrotoxicity in the rat//*Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1989. Vol. 101. P. 232-244.
- Griffin J.L., Walker L.A., Troke J., Osborn D., Shore R., Nicholson J. The initial pathogenesis of cadmium induced renal toxicity//*FEBS Letters*. 2000. Vol. 478. P. 147-150.
- Kelly J.A., Jaffe D.A., Baklanov A., Mahura A. Heavy metals on Kola Peninsula: aerosol size distribution//*Sci. Tot. Environ.* 1995. Vol. 160/161. P. 135-138.
- Leffler P., Nyholm N.E. Nephrotoxic effect in free-living bank voles in a heavy metal polluted environment//*Ambio*. 1996. Vol. 25, N 3. P. 417-420.
- Levin A., Miller R., Sant Agnese P. Heavy metal alterations of placental function a mechanism for the induction of fetal toxicity in Cd//*Reprod. and Dev. Toxicity Metals. Proc. Joint Meet. N.Y., L., 1983.* P. 633-654.
- Ma W. Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals//*Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1989. Vol. 18. P. 617-622.
- Ma W. Lead in small mammals//*Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations/Beuer W.N., Heinz G., Redmond-Norwood A. (Eds.). – Lewis, Boca Raton, 1996.* P. 291-296.
- Markert B., Herpin U., Berlecamp J., Oehlmann J., Grodzinska K., Mankovska B., Suchara I., Siewers U., Weckert V., Lieth H. A comparison of heavy metal deposition in selected Eastern European countries using the moss monitoring method, with special emphasis on the «Black Triangle»//*Sci. Tot. Environ.* 1996. Vol. 193, N 2. P. 85-100.
- Mattison D.R. Reproductive and developmental toxicity of metals: female reproductive system//*Reprod. and Dev. Toxicity Metals. Proc. Joint Meet. – N.Y., L., 1983.* P. 41-91.
- McGregor A.J., Mason H.J. Chronic occupational lead exposure and testicular endocrine function//*Hum. Exp. Toxicol.* 1990. Vol. 9, N 6. P. 371-376.
- Milton A., Cook J.A., Johnson M.S. Accumulation of lead, zinc and cadmium in a wild population of *Clethrionomys glareolus*//*Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2003. Vol. 44. P. 405-411.
- Mueller P.W. Detecting the renal effects of cadmium toxicity//*Clin. Chem.* 1993. Vol. 39, N 5. P. 55-64.
- Nolan C.V., Scaikh Z.A. An evaluation of tissue metallothionein and genetic resistance to cadmium toxicity in mice//*Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1986. Vol. 85. P. 135-144.
- Nomiyama K., Nomiyama H. Critical concentration of unbound cadmium in rabbit renal cortex//*Experientia*. 1986. Vol. 42. P. 149.
- Nyholm N.E., Runling A. Effect of decreased atmospheric heavy metal deposition in south Sweden on terrestrial birds and small mammals in natural populations//*Water, Air and Soil Pollut.* 2001. Vol. 1. P. 439-448.
- Nuorteva P. Metal distribution patterns and forest decline. Seeking Achilles heels for metals in Finnish forest biocenoses. – Helsinki, 1990. P. 1-77.
- Paksy K., Naray M., Varga B., Kiss I., Folly G. Uptake and distribution of Cd in ovaries, adrenals and pituitary in pseudopregnant rats effect of Cd on progesterone serum levels//*Environ. Res.* 1991. Vol. 51, N 1. P. 83-90.
- Parizek J. Cd and reproduction: a perspective after 25 years//*Reprod. and Dev. Toxicity Metals. Proc. Joint Meet. N.Y., L., 1983.* P. 301-313.
- Piotrowski J.K., Coleman D.O. Environmental hazards of heavy metals: summary evaluation of lead, cadmium, mercury//*Marc Report 20.* 1980. 42 p.
- Piscator M. Dietary exposure to cadmium and health effects: impact of environmental changes//*Environ. Health Perspect.* 1985. N 63, P. 127-132.
- Saxena D.K., Lal Bachchu, Chandra S.N. Age dependent testicular changes in lead exposed rats//*J Environ. Biol.* 1988. Vol. 9, N 3. P. 213-218.
- Sawicka-Kapusta K., Gorecki A., Lange R., 1987. Heavy Metals in rodents from polluted forests in Southern Poland//*Ecol. Pol.* Vol. 35, N 2. P. 345-354.
- Shore R.F., Douben P.E.T. Predicting ecotoxicological impacts of environmental contaminants on terrestrial small mammals//*Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 1994 a. Vol. 134. P. 49-89.
- Shore R.F., Douben P.E.T. The ecotoxicological significance of cadmium intake and residues in terrestrial small mammals//*Ecotoxicol. Environ. Safety.* 1994 b. Vol. 29. P. 101-112.
- Singhal S.K., Srivaslav R.P. S Toxic effects of lead in the environment//*Chem. Eng. World.* 1987. Vol. 22, N 2. P. 59-62.
- Swiergosz R., Zakrzewska M., Sawicka-Kapusta K., Bacia K., Janowska I. Accumulation of cadmium in and its effect on bank vole tissues after chronic exposure//*Ecotoxicol. Environ. Safety.* 1998. Vol. 41. P. 130-136.
- Sugawara N., Hirohata Y., Sugawa C. Testicular dysfunction induced by cadmium and its improvement caused by selenium in the mouse//*J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 1989. Vol. 9. P. 53-63.
- Talmage S.S., Walton B.T. Small mammals as monitors of environmental contaminants//*Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 1991. Vol. 119. P. 47-145.
- Wlostowski T., Krasowska A. Subcellular distribution of metallothionein and cadmium in the liver and kidneys of bank voles exposed to dietary cadmium//*Bio Metals.* 1999. Vol. 12. P. 173-179.
- Zakrzewska M. Effect of lead on postnatal development of the Bank Vole//*Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1988. Vol. 17. P. 365-371.

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РФ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
ГУ «ВИСИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК»

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ФГУ «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ»

*ИЗДАНИЕ НАСТОЯЩЕГО СБОРНИКА ПОСВЯЩАЕТСЯ
90-ЛЕТИЮ ЗАПОВЕДНОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВИСИМСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

Материалы научной конференции,
посвященной 35-летию Висимского заповедника
(Екатеринбург, 2–3.10.2006 г.)

ЕКАТЕРИНБУРГ

2006

ББК 28.08
Э 40
УДК 502.4:574

Ответственный редактор: Ю. Ф. Марин

Редколлегия: А. С. Мишин (председатель), Ю. Ф. Марин, Л. В. Марина,
Р. З. Сибгатуллин, Н. Л. Ухова, Н. В. Беляева

Э 40 **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВИСИМСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ. Материалы научной конференции, посвященной 35-летию Висимского заповедника (Екатеринбург, 2–3.10.2006 г.).** Отв. редактор Ю. Ф. Марин. — Екатеринбург: Сред.-Урал. кн. изд-во. Новое время, 2006. — 340 с.: 77 ил.

ISBN 5–7450–0473–8

Сборник включает материалы сотрудников заповедника, института экологии растений и животных УрО РАН, а также ученых из других учреждений, как правило, много лет работавших на территории Висимского заповедника.

Обсуждаются общие проблемы организации и функционирования заповедника: охрана природного комплекса, научная работа и экомониторинг, экопросвещение. Блок результатов исследований включает такие области, как лесоведение, почвоведение, динамические процессы всех ярусов леса после катастрофических явлений, сукцессионные процессы, биологическое разнообразие (беспозвоночные животные, миксомицеты, базидиальные грибы и сосудистые растения), морфофизиология, фенетика, экология ряда групп растений и животных.

Широкий спектр научных статей отражает разностороннее и комплексное изучение эталонной природной территории Висимского биосферного заповедника, а также результаты ведущего здесь многие годы локального экологического мониторинга. Эти материалы наглядно показывают высокую флористическую и фаунистическую изученность Висимского заповедника, выполнение на его территории широкого фронта комплексных (в том числе междисциплинарных) экологических исследований.

Публикации в настоящем сборнике могут быть полезны как ученым самых различных специальностей, так и организациям, занимающимся контролем состояния природной среды. Интересен он будет также преподавателям и студентам различных ВУЗов.

ISBN 5–7450–0473–8

© Коллектив авторов, 2006
© Висимский заповедник, 2006
© Лаборатория издательских технологий, 2006 (оформление)