

УДК 502.5
ББК 20.18
Н34

Н34 Научные исследования на ООПТ Урала : тезисы докладов Межрегиональной конференции, посвященной 50-летию Висимского государственного природного биосферного заповедника / Федеральное государственное бюджетное учреждение «Висимский государственный природный биосферный заповедник». – Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2021. – 156 с.

ISBN 978-5-8295-0781-7

В сборнике представлены тезисы докладов участников Межрегиональной конференции «Научные исследования на ООПТ Урала», посвященной 50-летию Висимского государственного природного биосферного заповедника, состоявшейся в Институте экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург) 14–15 октября 2021 года. Тематика тезисов охватывает вопросы изучения биоты особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Урала, в том числе Висимского природного биосферного заповедника. Содержание сборника отражает основные направления и результаты научной деятельности на ООПТ. Тезисы приведены с минимальными редакторскими правками в авторской редакции с внутритекстовыми библиографическими ссылками без оформленного списка литературы.

УДК 502.5
ББК 20.18

Ответственный редактор: А. В. Хлопотова

ISBN 978-5-8295-0781-7

© Авторы тезисов, 2021

Содержание тяжелых металлов в организме мелких млекопитающих Висимского заповедника (2019–2020 гг.)

Г. Ю. Смирнов

ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», г. Екатеринбург,
smirnov_gy@ipae.uran.ru

Висимский заповедник расположен в непосредственной близости от крупных промышленных предприятий – медеплавильного комбината г. Кировграда (КМК, АО «Уралэлектромедь») и ГРЭС г. Верхнего Тагила (ВТГРЭС). Наличие близко расположенных длительно действующих (КМК с 1914 г., ВТГРЭС – с 1956 г.) промышленных предприятий и соседство на относительно небольшой территории как фоновых, так и загрязненных участков, позволяет исследовать различные эффекты токсической нагрузки, исключая другие антропогенные воздействия (рекреацию, рубки леса, выпас скота и др.).

Комплексные экотоксикологические исследования мелких млекопитающих в окрестностях предприятий и на территории заповедника ведутся с 2004 г. (Воробейчик и др., 2006; Мухачева, Давыдова, 2006). Основные работы ведутся на профиле «г. Кировград – д. Большие Галашки», который с небольшими изменениями повторяет профиль для отбора снеговых проб, заложенный Ю.Ф. Мариным (1989 г.). Этот профиль образует градиент токсической нагрузки протяженностью почти 40 км. Пробные площади в квартале 140 заповедника (район горы Большой Сутук), на которых проводятся исследования многолетней динамики мелких млекопитающих, используются как дополнительный (буферный или условно фоновый) участок градиента. Уровни загрязнения оцениваются на основе данных о содержании тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb) в снеговом покрове, лесной подстилке, гумусовом горизонте почвы, а также в органах-депо (скелет, почки, печень) мелких млекопитающих (Воробейчик и др., 2006; Кайгородова и др., 2015; Давыдова и др., 2017).

Настоящая работа – продолжение исследования многолетней динамики накопления тяжелых металлов мелкими млекопитающими в градиенте загрязнения.

Для исследования были выбраны три вида грызунов – близкородственные рыжая и красная полевки (*Clethrionomys glareolus*, *Cl. rutilus*, CRICETIDAE) и малая лесная мышь (*Sylviaemus uralensis*, MURIDAE). Полевки и малая лесная мышь различаются типом питания (зеленояды и семенояды), предпочитаемыми местообитаниями (малая лесная мышь охотнее селится в открытых местообитаниях), подвижностью (малая лесная мышь может перемещаться на расстояние до 9 км; цит. по Григоркина, Оленев, 2018) и т.д.

Отловы животных проводили в июле–августе 2019–2020 гг. на четырех участках токсического градиента. Фоновые участки (Галашкинский и Верхнесулемский) – удалены от КМК на 35 и 18 км, уровни загрязнения снегового покрова, лесной подстилки и почвы здесь приближены к региональному фону. Галашкинский участок расположен в крайней западной части заповедника (кв. 21), недалеко от д. Большие Галашки. Рельеф западной части – низкогорно-увалистый и депрессионно-равнинный. Работы ведутся во вторичных пихто-еловых и смешанных лесах кустарничково-разнотрав-

ных. Верхнесулемский участок расположен в северной выположенной части заповедника (кв. 46) в верховьях р. Сулем, преобладающие типы леса – влажные ельники мелкотравные. Исследуемые биотопы – пихтово-еловые, елово-березовые и смешанные леса хвощево-мелкотравно-вейниковые с развитым моховым покровом. Подлесок, наоборот, не выражен и состоит из единичных кустов малины и шиповника.

Условно фоновый Сутукский участок расположен в 18 км от КМК в наиболее высокой юго-восточной части заповедника (кв. 140) и характеризуется низкогорным рельефом с перепадами высот 250–300 м и максимальной высотой 699 м (гора Большой Сутук). На Сутукском участке сохранились основные массивы коренных пихтово-еловых лесов заповедника. Биотопы, в которых ведутся исследования, представляют собой коренные пихто-ельники: высокотравно-папоротниковый и разнотравный.

Сильно загрязненный (или импактный) Кировградский участок находится в 3,5 км к западу от КМК в окрестностях г. Кировград. Отличия Кировградского участка от других участков градиента связаны с высокой степенью антропогенного воздействия на типичные южнотаежные ландшафты и выражаются в деградации почв, сведении и замещении коренных пихтово-еловых лесов производными, наличием рудеральных пространств, формировании своеобразного микроклимата (более теплого и влажного по сравнению с прилегающими территориями). На участке произрастает пихтово-еловый лес с примесью сосны, рябины, елью и пихтой в подросте, кустарничково-разнотравным ярусом.

Для отловов использовали стандартный метод ловушко-линий (Карасева, Телицина, 1996). На каждом из участков токсического градиента размещали по две–три линии деревянных трапиковых живоловок (по 25 шт. каждая). Ловушки экспонировали, как правило, четверо суток и проверяли ежедневно утром и вечером. Всего поймано 200 особей модельных видов (табл. 1). Грызунов дифференцировали на две возрастные (функциональные) группы по комплексу признаков (массе и размерам тела, состоянию половых желез, наличию тимуса и зубных корней) – сеголеток (уу) и перезимовавших особей (ow) (Оленев, 2009). После поимки животных доставляли в лабораторию для стандартного обследования (измерение, взвешивание, определение массы внутренних органов и др.). Одновременно вели отбор биологических образцов, в том числе печени для химического анализа.

Таблица 1

Объем выборки грызунов для анализа концентраций тяжелых металлов (2019–2020 гг.)

Участки	<i>Cl. glareolus</i> (n = 116)		<i>Cl. rutilus</i> (n = 63)		<i>S. uralensis</i> (n = 21)	
	уу	ow	уу	ow	уу	ow
Галашкинский	18	1	6	0	2	1
Верхнесулемский	13	0	20	1	1	0
Сутукский	28	42	8	9	4	3
Кировградский	10	4	11	8	8	2

Образцы ткани печени каждого животного сушили при 75°C до воздушно-сухой массы. Затем пробы измельчали и взвешивали на аналитических весах KERN-770 (Germany) с точностью до 0.01 мг. Аликвоты 100 мг помещали в тefлоновые сосуды, содержащие 7 мл 65% HNO₃ (сверхвысокой чистоты), смешанной с 1 мл деионизированной H₂O, инкубировали в течение 30 мин. и озоляли в микроволновой печи MWS-2 (MWS-2 Berghof, Germany). Затем объем образца доводили до 10 мл деионизированной H₂O. Концентрации тяжелых металлов (мкг/г сухой массы) измеряли на атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA 700 vario (Analytik Jena, Germany) с использованием пламенного (для Cu и Zn) и электротермического (для Cd и Pb) варианта атомизации. Анализ проводили в лаборатории экотоксикологии популяций и сообществ Института экологии растений и животных УрО РАН. Качество измерений оценивали по международному стандарту CRM 185R (бычья печень). Предельные концентрации обнаружения для пламенного варианта атомизации – 0.03 мкг/мл для Cu и 0.015 мкг/мл для Zn, и для электротермического варианта – 0.0008 мкг/мл для Cd и 0.0025 мкг/мл для Pb. В случае, если концентрация элемента была ниже предела обнаружения, для статистического анализа использовали значение, равное половине предела обнаружения.

Статистический анализ выполняли в Statistica v. 8 (Statsoft Inc. 2007). Влияние факторов (вид, возраст, участок) на накопление тяжелых металлов оценивали с помощью общих линейных моделей (LM). Различия, связанные с полом, не исследовали. Статистической единицей во всех моделях была особь. Значения концентраций металлов логарифмировали.

Разные виды грызунов по-разному накапливают токсиканты (табл. 2). Минимальные концентрации эссенциальных и токсических металлов обнаружены у малой лесной мыши ($F(2, 125) = 9.8, p = 0.0001$) (рис. 1). Этот результат согласуется с литературными данными (Hunter et al., 1989; Heske et al., 2003; Мухачева, 2004; Schipper et al., 2008). Низкие уровни концентраций элементов у мышей, по сравнению с полевыми и, тем более, с мелкими насекомоядными, объясняют особенностями биологии представителей этого семейства (преимущественным питанием семенами, максимально защищенными от токсического воздействия, большей подвижностью и др.). Влияние возраста на накопление металлов в нашей выборке оказалось незначимым ($F(1, 125) = 0.15, p = 0.691$).

Содержание эссенциальных меди и цинка в печени животных из разных участков различалось не у всех видов (например, для меди см. рис. 1). Наоборот, концентрации токсических элементов существенно различались у грызунов из фоновых и импактных участков: максимальные значения регистрировали у животных из Кировградского участка ($F(1, 125) = 21.7, p < 0.001$). Минимальные концентрации кадмия, самого гепатотоксичного элемента, обнаружены у рыжей полевки из Сутукского участка ($F(3, 112) = 5.87, p < 0.001$) и у красной полевки из Верхнесулемского участка ($F(3, 59) = 5.87, p < 0.001$) (рис. 2).

В последние десятилетия атмосферные выбросы КМК и ВТГРЭС снижаются в связи с реконструкцией (КМК) и переходом на другой вид топлива (ВТГРЭС). Валовые выбросы для КМК и ВТГРЭС в конце 1980-х гг. составили: 95.3 и 135.3 тыс. т/год., в 1993 г. – 6.4 и 63.2 тыс. т/год, 2006 г. – 25.6 и 35.3 тыс. т/год, 2020 г. – 25.7 и

2.3 тыс. т/год, соответственно («Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области», 2004–2020 гг.). Снижение выбросов отразилось и на уровнях загрязнения тяжелыми металлами исследуемых нами депонирующих сред.

Например, в 2004–2005 гг. в депонирующих органах рыжей полевки из Су-тукского участка концентрации приоритетных металлов в 1.5–3.9 раза превышали уровни регионального фона и были сопоставимы с концентрациями элементов, регистрируемых у этого вида из других промышленных районов России и Европы, включая район СУМЗа, самого крупного медеплавильного завода на Среднем Урале (Воробейчик и др., 2006). В результате повторных исследований в 2013–2016 гг. (на тех же участках заповедника был выполнен повторный отбор образцов снега, лесной подстилки, почвы и органов рыжей полевки) обнаружили, что содержание Cu, Zn, Cd, Pb в депонирующих средах или снизилось, или сохранилось на прежнем уровне. Максимальные изменения были зарегистрированы для снегового покрова, в котором валовое содержание Cu снизилось в 2–3 раза, Zn – в 2–8 раз, Cd – в 3–9 раз, Pb – в 2–13 раз. Для лесной подстилки и гумусового горизонта почвы снижение было не столь резким и, как правило, не превышало 1.3–2.6 раз, а содержание Cu в почве самого «чистого» Галашкинского участка даже увеличилось на 30%. В печени рыжей полевки концентрации эссенциальных элементов (Cu и Zn) не изменились, тогда как токсических (Cd и Pb) – снизились в 2.1–2.5 раза (Давыдова и др., 2017). Концентрации тяжелых металлов в снеговом покрове наиболее загрязненного в заповеднике Сутукского участка стали сопоставимыми со значениями, характерными для начального периода исследований на фоновом Галашкинском участке. В лесной подстилке такие результаты были достигнуты лишь для цинка, в депонирующих органах рыжей полевки – для свинца. Только в гумусовом горизонте концентрации всех элементов были в 1.3–7 раз выше. В отличие от лесной подстилки, из которой тяжелые металлы постепенно вымываются после прекращения выбросов, гумусовый горизонт представляет собой геохимический барьер, который удерживает накопленные токсиканты в течение десятков лет.

Данные этой работы подтверждают ранее сделанный вывод, что уровни загрязнения всех депонирующих сред (кроме почв) на исследованных участках заповедника соответствуют или постепенно приближаются к региональным фоновым значениям. В то же время, в окрестностях КМК уровни накопления в них тяжелых металлов остаются относительно высокими (табл. 2, рис. 3). Например, концентрации кадмия в печени рыжей полевки из Кировградского участка сопоставимы со значениями, регистрируемыми для этого вида около СУМЗа (4–6 км от завода) (Мухачева, 2017). Таким образом, участки, расположенные в заповеднике могут и в дальнейшем служить в качестве фоновых для токсического градиента, а полевки – в качестве модельных объектов экотоксикологических исследований, более чувствительных к загрязнению по сравнению с малой лесной мышью.

Таблица 2

Концентрации тяжелых металлов (мкг/г сухой массы) в печени грызунов
(2019–2020 гг.)

Элемент	Участок	<i>Cl. glareolus</i> (n = 116)		<i>Cl. rutilus</i> (n = 63)		<i>S. uralensis</i> (n = 21)	
		yy	ow	yy	ow	yy	ow
Cu	1	14.6 ± 0.55		13.6 ± 0.43		14.7 ± 0.21	
		8.9 – 21.2	12.7	12.4 – 15.1	–	14.4 – 14.9	15.2
	2	13 ± 0.69		12.2 ± 0.66			
		9.3 – 17.2	–	5.6 – 16.7	13.1	17.8	–
	3	12.2 ± 1.26	13.3 ± 0.37	9.1 ± 2.46	9.4 ± 1	16.8 ± 0.79	11.4 ± 0.55
1.2 – 23.4		5 – 18.5	1.1 – 20	3.4 – 14.2	14.7 – 18.2	10.7 – 12.5	
4	17.2 ± 1.53	17.5 ± 1.5	14.5 ± 0.84	14.6 ± 0.95	14.3 ± 1.18	13 ± 2.54	
	9.5 – 23.5	13.1 – 19.5	8.1 – 18.7	11.8 – 19.7	10.5 – 18.5	10.5 – 15.5	
Zn	1	112.6 ± 7.12		97.1 ± 3.65		91.7 ± 1.11	
		59.2 – 169.7	89.7	84.7 – 107	–	90.6 – 92.8	98.5
	2	102.7 ± 12.15		80.6 ± 2.89			
		62.6 – 235.6	–	41.9 – 100.2	86.9	81.9	–
	3	97.8 ± 5.33	105.9 ± 29.18	89.1 ± 8.13	68.8 ± 4.43	96.3 ± 11.71	58.8 ± 3.58
48.5 – 168.5		29.7 – 1237.7	64.4 – 128.8	52.4 – 90.3	70.5 – 127.4	54.8 – 66	
4	93.4 ± 5.07	100.2 ± 7.26	82.5 ± 6.96	86.2 ± 4.36	85.7 ± 5.4	71.2 ± 7.25	
	68.8 – 112	78.7 – 110.6	37.6 – 117.7	68.8 – 105.6	63.7 – 115.3	63.9 – 78.4	
Cd	1	0.8 ± 0.18		0.7 ± 0.4		0.4 ± 0.28	
		0.1 – 2.7	0.4	0 – 2.7	–	0.1 – 0.6	0.3
	2	0.3 ± 0.07		0.4 ± 0.05			
		0.01 – 0.8	–	0.2 – 0.9	0.5	0.2	–
	3	0.6 ± 0.11	0.7 ± 0.09	0.6 ± 0.18	0.4 ± 0.16	0.7 ± 0.58	0.2 ± 0.1
0.01 – 2.3		0.1 – 2.2	0.1 – 1.5	0.1 – 1.6	0.01 – 2.4	0.1 – 0.4	
4	1 ± 0.19	1.2 ± 0.39	2.5 ± 0.68	4.6 ± 1.65	0.3 ± 0.06	0.3 ± 0.11	
	0.3 – 2.2	0.5 – 2.3	0.7 – 7.9	0.9 – 12.1	0.1 – 0.6	0.2 – 0.4	
Pb	1	1.5 ± 0.28		3 ± 0.47		0.7 ± 0.19	
		0.1 – 4	1.5	1.9 – 4.6	–	0.5 – 0.9	3.3
	2	2.1 ± 0.49		2.6 ± 0.4			
		0.3 – 5.8	–	0.5 – 6.4	1.4	2.9	–
	3	1.7 ± 0.25	2 ± 0.3	1.6 ± 0.33	2.8 ± 0.97	0.9 ± 0.35	4.2 ± 1.07
0.1 – 5.3		0.01 – 6.7	0.3 – 3	0.4 – 8.5	0.3 – 1.8	2.2 – 5.9	
4	5.2 ± 0.95	3.3 ± 0.53	3.1 ± 0.88	5.3 ± 0.94	6.1 ± 0.88	6.4 ± 1.07	
	0.9 – 8.9	2.1 – 4.6	0.2 – 9	0.9 – 9.6	2 – 9.2	5.4 – 7.5	

Примечание. Участки отлова животных: 1 – Галашкинский, 2 – Верхнесулемский, 3 – Су-тукский, 4 – Кировградский. Возрастная группа: yy – сеголетки, ow – перезимовавшие особи. Приведены среднее ± ошибка среднего, минимальные и максимальные значения показателей. Прочерк означает отсутствие данных.

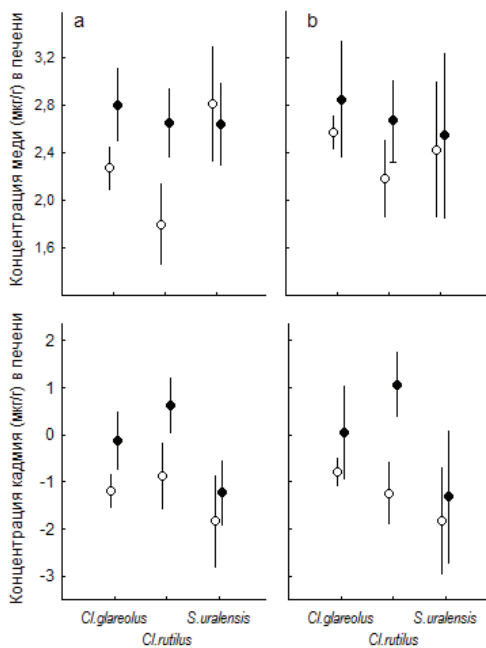


Рисунок 1. Концентрации меди и кадмия (среднее, ДИ) в печени грызунов (а – сеголетки; б – перезимовавшие особи) на фоновом (Сутукский) и импактном (Кировградский) участках.

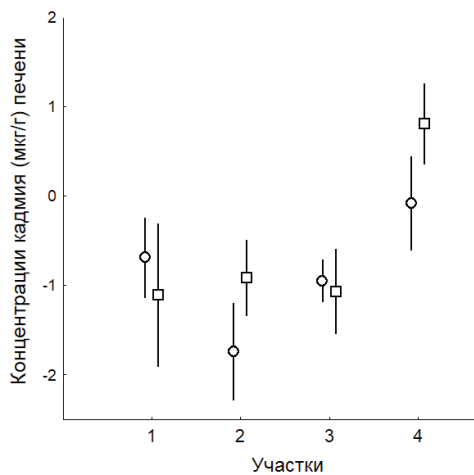


Рисунок 2. Концентрации кадмия в печени (среднее, ДИ) у рыжей полевки (круг) и красной полевки (квадрат). Участки отлова животных: 1 – Галашкинский, 2 – Верхнесулемский, 3 – Сутукский, 4 – Кировградский.

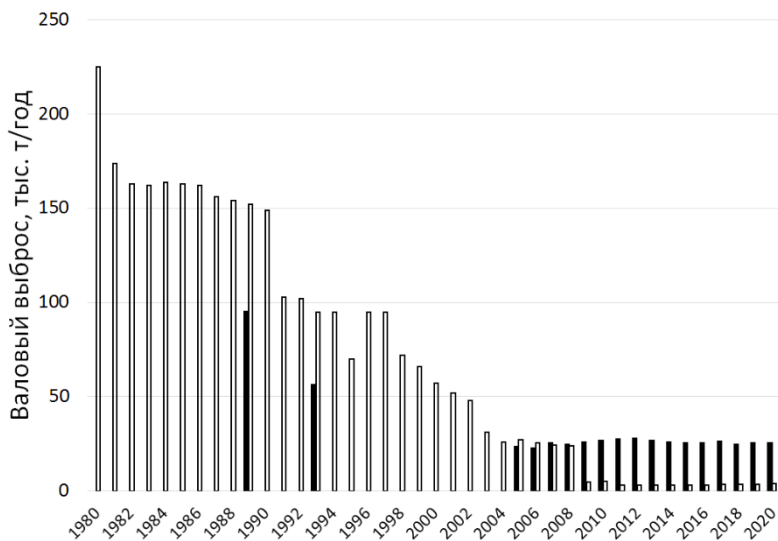


Рисунок 3. Объемы валовых выбросов (тыс. т/год) в атмосферу в окрестностях г. Ревды (СУМЗ, белая заливка) и г. Кировграда (КМК, темная заливка) (1980–2020 гг.).

Источники данных: до 2004 г. – Воробейчик и др., 2006, 2017; после 2004 г. – «Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области», 2004–2020 гг.