

УДК 599.32+504.5:669.2/.8(470.55)

## РЕАКЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2010 г. С. В. Мухачева, Ю. А. Давыдова, И. А. Кшнясев

*Институт экологии растений и животных УрО РАН*

*620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202*

*E-mail: msv@ipae.uran.ru*

Поступила в редакцию 09.04.2010 г.

Изучено влияние выбросов Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) на население мелких млекопитающих. Показано, что техногенное воздействие приводит к существенному изменению численности и структуры животного населения. Трансформация структуры населения сопровождается сменой доминантов. Выявлена нелинейность реакции населения мелких млекопитающих (типа “доза-эффект”) на воздействие: для большинства видов мышевидных грызунов и мелких насекомоядных качество местообитаний становится удовлетворительным на расстоянии 9–11 км от факела выбросов.

*Ключевые слова:* мелкие млекопитающие, структура населения, относительное обилие, промышленное загрязнение, медеплавильный завод, тяжелые металлы.

Мелкие млекопитающие (мышевидные грызуны и насекомоядные) традиционно используются в качестве модельных объектов для исследований широкого спектра проблем теоретической и прикладной экологии. Среди млекопитающих данная группа животных является наиболее информативной, чутко улавливающей разнообразные изменения в наземных экосистемах (Степанов и др., 1992; Talmage, Walton, 1991).

Из большого числа работ, касающихся техногенного воздействия на экосистемы в целом и мелких млекопитающих, в частности, основная часть посвящена изучению поведения ксенобиотиков в природной среде (аккумуляции, трансформации, детоксикации, экскреции, дрейфа) и охватывает преимущественно тканевой и организменный уровни. Отдельные работы посвящены изучению эффектов воздействия токсикантов на мелких млекопитающих из природных популяций (Москвитина, 1999; Мухачева, 2001; Безель, 2006; Leffler, Niholm, 1996; Wlostowski, Krasowska, 1994).

Нередко мелких млекопитающих используют в качестве индикаторов для оценки степени нарушений местообитаний. Известно, что воздействие антропогенных факторов приводит к изменению структуры (видового состава и долевого участия отдельных видов) и численности населения (Безель и др., 1986; Вольперт, Сапожников, 1998; Шилова, 1999; и др.). Величина и направление изменений этих параметров зависят от при-

роды и степени воздействий, а также от пластичности видов, составляющих сообщества. Однако реакция животного населения на подобные воздействия до настоящего времени изучена недостаточно. Документированные данные об изменении численности мелких млекопитающих в зоне действия точечных источников загрязнения среды содержат единичные публикации (Kataev et al., 1994; Мухачева, 1996, 2007; Лукьянова, Лукьянов, 1998б; Kozlov et al., 2005; Давыдова, 2007). В ряде исследований показано, что в сообществах, подверженных воздействию техногенных факторов, “работают” неспецифические механизмы трансформации и репарации (Мухачева, 1996; Лукьянова, Лукьянов, 1998а).

В то же время исследования различных компонентов наземных экосистем, подверженных воздействию точечных источников загрязнения, представляют интерес не только для решения прикладных задач, но и в целом для теоретической экологии. Изучение реакции населения мелких млекопитающих (как одного из важнейших компонентов экосистем) в конкретных условиях позволит судить об устойчивости экосистем к загрязнению того или иного рода и эффективности механизмов саморегуляции.

Поэтому целью настоящей работы стало исследование изменений структуры населения мелких млекопитающих в градиенте техногенного загрязнения среды на примере Карабашского медеплавильного комбината.

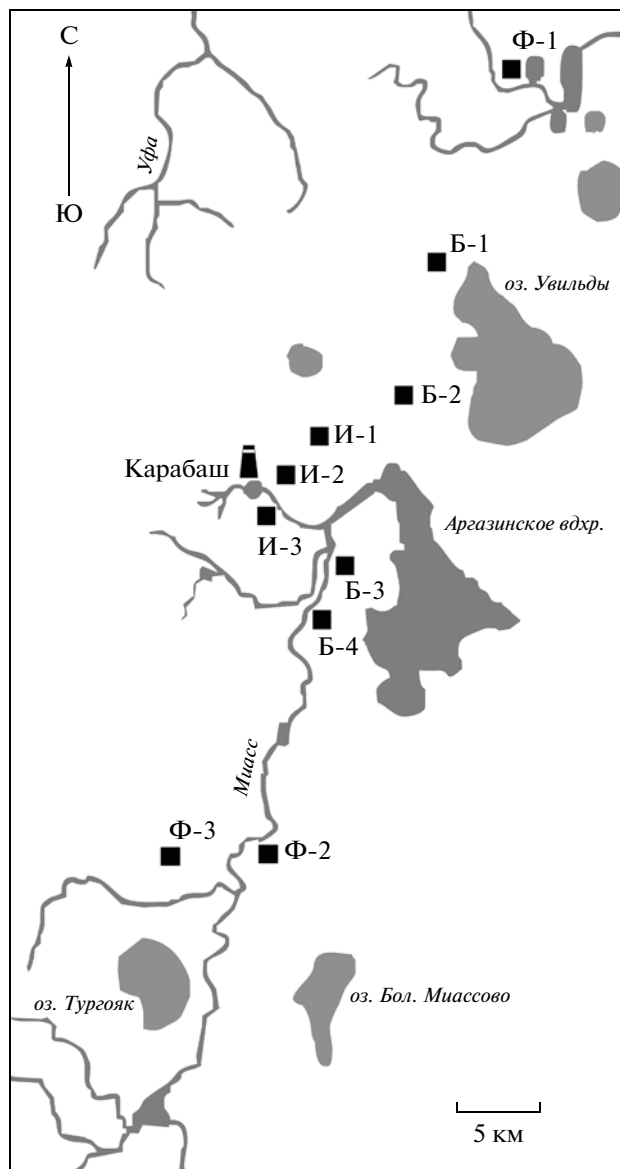
МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

*Характеристика источника выбросов.* Исследования проводили в зоне воздействия крупного предприятия цветной металлургии (ЗАО “Карабашмедь”), расположенного на Южном Урале в 90 км к северо-западу от г. Челябинска. Карабашский медеплавильный завод, пущенный в строй в 1910 г. и выпускавший до 30% черновой меди в СССР, длительное время не имел современного оборудования по очистке пылегазовых выбросов и сточных вод. В 1989 г. ООН признала г. Карабаш “самой грязной точкой планеты”. Предприятие было остановлено и возобновило работу лишь в 1998 г. Модернизация производства, которая проводится в течение последних лет, позволила существенно сократить объемы выбросов. Так, в 1970 г. выбросы загрязняющих веществ в атмосферу составили более 370 тыс. т. При этом большая их часть приходилась на сернистый ангидрид (364.5 тыс. т) и пыль (28.8 тыс. т) с сорбированными в ней тяжелыми металлами, в том числе (тыс. т): Cu – 1.53, Pb – 2.57, As – 1.92. В 2005 г. выбросы загрязняющих веществ снизились до 41 тыс. т, сернистый ангидрид составлял 38.1 тыс. т, пыль – 1.3 тыс. т, в том числе Cu – 0.34, Pb – 0.02, As – 0.007 тыс. т (Степанов и др., 1992; Kozlov et al., 2009). Несмотря на это, накопленный потенциал загрязнителей все еще велик.

К настоящему времени в зоне действия комбината были исследованы различные компоненты экосистем – альгофлора, почвенная микробиота и мезофауна, эпифитные лишайники, высшая растительность, наземные беспозвоночные (Степанов и др., 1992; Черненкова, 2002; Kozlov et al., 2009; и др.). Мелкие млекопитающие исследовались эпизодически (Черноусова, 1990; Степанов и др., 1992), данные о составе и численности их населения отсутствуют.

*Характеристика участков исследования.* Было выбрано 10 пробных участков, расположенных в северном и южном направлении на разном удалении от источника эмиссии (рис. 1), в наиболее широко представленных на данной территории биоценозах – производных березняках, образовавшихся на месте сосновых лесов. На основании геоботанических описаний, а также литературных данных (Степанов и др., 1992) были выделены зоны, качественно различающиеся по степени трансформации экосистем: техногенная пустошь – до 2 км, импактная – 2–5 км, буферная – 9–18 км, фоновая – 25–32 км.

На фоновой территории пробные участки располагались в орляково-разнотравных и разнотравных березняках (80–100 лет) с хорошо развитым травянистым ярусом, проективное покрытие которого, как правило, достигало 100%. Моховой ярус не выражен. В буферной зоне широко представлены березняки разнотравные (80–100 лет) с



**Рис. 1.** Район исследований и участки отловов мелких млекопитающих. Ф-1, Ф-2, Ф-3 – участки фоновой зоны, удалены от источника эмиссии на 32, 27, 26 км; Б-1, Б-2, Б-3, Б-4 – участки буферной зоны, удалены от источника эмиссии на 18, 11, 9, 12 км; И-1, И-2, И-3 – участки импактной зоны, удалены от источника эмиссии на 5, 1.5, 3.5 км.

развитым травянистым покровом, проективное покрытие составляет 60–70%, моховой ярус выражен слабо. На территории импактной зоны пробные участки располагались в мертвопокровных березняках (60–80 лет). Мхи, представленные единственным видом (*Pholia nutans*), покрывают до 10–15% территории, травянистые растения единичны. Большую часть поверхности почвы занимает неразложившийся опад. Техногенная пустошь представляет собой территорию со смытыми верхними горизонтами почвы, почти лишен-

## Структура населения мелких млекопитающих в районе исследования

Вид	Зона техногенной нагрузки					
	фоновая		буферная		импактная	
	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.
Обследовано участков	3	3	4	4	3	3
Отработано ловушко-суток	675	675	900	900	675	675
Отловлено животных, экз.	43	49	81	74	4	5
Зарегистрировано видов	6	7	6	7	2	2
Суммарное обилие*, экз./100 лов.-сут	$\frac{6.4 \pm 1.7}{0/14.7}$	$\frac{7.3 \pm 1.8}{1.3/17.3}$	$\frac{9.0 \pm 2.0}{0/25.3}$	$\frac{8.2 \pm 0.4}{0/24.0}$	$\frac{0.6 \pm 0.3}{0/2.7}$	$\frac{0.7 \pm 0.4}{0/5.3}$
в том числе:						
Обыкновенная бурозубка ( <i>Sorex araneus</i> L., 1758)	1.9	1.6	0.5	0.3	0	0
Средняя бурозубка ( <i>Sorex caecutiens</i> Laxmann, 1788)	1.6	1.5	0.3	0.9	0	0
Равнозубая бурозубка ( <i>Sorex isodon</i> Turon, 1924)	0	0.2	0	0	0	0
Малая бурозубка ( <i>Sorex minutus</i> L., 1766)	0	0.6	0	0	0	0
Малая лесная мышь ( <i>Sylvaemus uralensis</i> L., 1771)	0.5	1.0	2.0	3.2	0	0
Полевая мышь ( <i>Apodemus agrarius</i> Pall., 1771)	0	0	0	0.2	0	0
Обыкновенная полевка** ( <i>Microtus arvalis</i> Pall., 1779)	0.5	0.2	0	0	0.2	0.2
Темная полевка ( <i>Microtus agrestis</i> Pall., 1761)	0	0	0.3	0.2	0	0
Красная полевка ( <i>Myodes rutilus</i> Pall., 1779)	0	0	0.1	0.6	0.4	0.5
Рыжая полевка ( <i>Myodes glareolus</i> Schreb., 1780)	1.9	2.2	5.8	2.8	0	0

\* Над чертой – среднее значение  $\pm$  ошибка среднего, под чертой – диапазон изменений (минимальное/максимальное значения); учетная единица – 1 линия (из 25 ловушек).

\*\* Цитогенетические исследования не проводили.

ную растительности. Единичные экземпляры травянистых растений, деревьев и кустарников приурочены к промоинам и оврагам.

Отлов мелких млекопитающих проводили в сентябре 2008 и 2009 гг. одновременно на всех участках. На каждом участке случайным образом (без привязки к каким-либо элементам биоценоза) устанавливали по 3 линии ловушек-плашек (25 шт. через 5–7 м), удаленных друг от друга не менее чем на 100 м. Ловушки экспонировали 3 суток с ежедневной однократной проверкой в утренние часы. В качестве приманки служил хлеб, смоченный в нерафинированном растительном масле. В 2008 и 2009 гг. отработано по 2250 ловушко-суток, добыто по 128 особей 10 видов мелких млекопитающих. Для характеристики населения использовали следующие показатели: 1) видовой состав; 2) доля отдельных видов; 3) относительное обилие (отдельных видов и сообщества в целом). Индекс обилия оценивали пересчетом количества животных на 100 ловушко-суток.

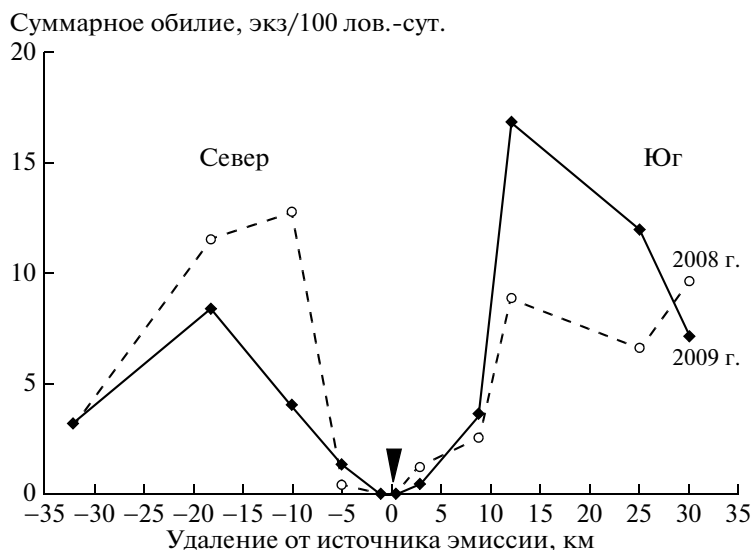
Для статистического анализа данных применяли стандартные статистические методы (StatSoft, Inc., 2001). Структуру населения анализировали с помощью таблиц сопряженности и нелинейной

регрессии, для оценки различий использовали критерии  $\chi^2$  и  $G^2$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По литературным данным (Степанов и др., 1992; Большаков и др., 1996; Самойлова, 2003; Оленев, Колчева, 2007; Крашанинина, Чибиряк, 2008), современная фауна мелких млекопитающих в районе исследования представлена 13 видами мышевидных грызунов и 7 видами насекомоядных. Мы обнаружили 6 видов грызунов и 4 вида бурозубок (см. таблицу). Все они входят в число ранее описанных для этого района.

Структура населения мелких млекопитающих изменяется с расстоянием от источника загрязнения и статистически неоднородна ( $\chi^2(10) = 107.9$ ;  $p = 0.0001$ ). В фоновой и буферной зонах население мелких млекопитающих представлено 6–7 видами, в импактной зоне оно становится менее разнообразным – число видов уменьшается до 2. Трансформация структуры населения на нарушенных участках сопровождается сменой доминантов. На фоновых территориях доминируют мелкие насекомоядные (54%) и рыжая полевка (около 30%). На буферных участках наиболее



**Рис. 2.** Суммарное обилие населения мелких млекопитающих в зоне действия Карабашского медеплавильного завода (черный треугольник).

многочисленны рыжая полевка (50%), малая лесная мышь (30%) и мелкие насекомоядные (12%). Население импактной зоны представлено красной (69%) и обыкновенной (31%) полевками, насекомоядные в отловах отсутствуют. На “техногенной пустоши” мелкие млекопитающие не зарегистрированы.

Для выявления особенностей видовой структуры использовали таблицы сопряженности. Парные контрасты между зонами значимы: буферная/фоновая –  $\chi^2(1) = 3.86$ , импактная/буферная –  $\chi^2(1) = 52.18$ , импактная/фоновая –  $\chi^2(1) = 37.37$ . Главными особенностями населения мелких млекопитающих в зоне действия завода являются, с одной стороны, преобладание в импактной зоне красной полевки, а с другой – доминирование бурозубок на фоновой территории.

При сравнении зон загрязнения индекс суммарного обилия существенно различается ( $G^2(2) = 69.12$ ). При приближении к факелу выбросов он изменяется нелинейно с максимумом в буферной зоне – в среднем 8.6 экз/100 лов.-сут. Население импактных участков отличается крайне низким обилием: 0.6–0.7 экз/100 лов.-сут, на фоновых территориях зарегистрированы промежуточные значения – в среднем 6.9 экз/100 лов.-сут (см. таблицу).

Более детальный анализ распределения мелких млекопитающих на отдельных участках показал, что на всех территориях, независимо от расстояния до завода, зверьки были размещены неравномерно. Так, в импактной зоне животные были зарегистрированы на 5 линиях из 18, которые были выставлены в течение двух туров, а индекс обилия варьировал в пределах 0–5.3 экз/100 лов.-сут. Из 24 буферных линий зверьки не отмечались на 2, обилие изменялось в диапазоне от 0 до 25.3 экз/100 лов.-сут.

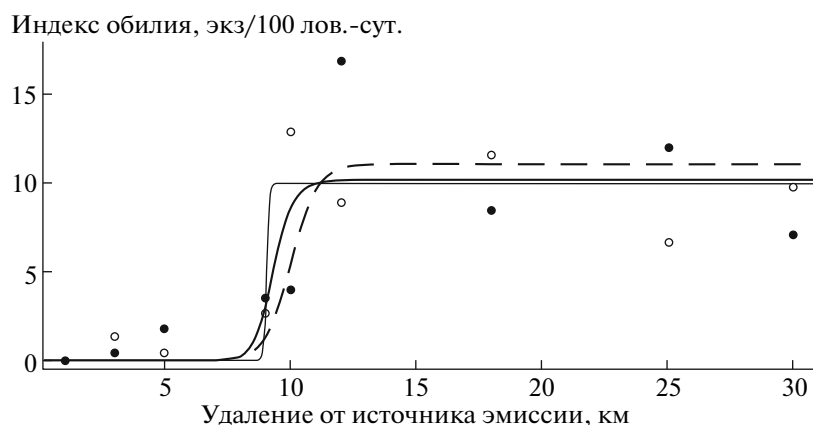
В фоновой зоне из 18 линий животные не отловлены лишь на одной, а индекс обилия изменялся от 0 до 17.3 экз/100 лов.-сут.

Характер изменения индекса суммарного обилия животных на разном удалении от источника эмиссии представлен на рис. 2. Максимальные значения показателя были зарегистрированы в 2008 г. на буферных участках, расположенных в северном от завода направлении, а в 2009 г. – в южном. В первом случае наблюдаемый “всплеск” был обусловлен высокой численностью рыжей полевки, во втором – малой лесной мыши. На северном фоновом участке численность сохранялась на одном уровне, а на южных изменялась разнонаправленно. На импактных участках также наблюдали “зеркальную” смену населения (рис. 3).

Зависимость индекса суммарного обилия населения от расстояния до источника эмиссии хорошо аппроксимируется ( $R^2 = 0.875$ ) нелинейной функцией  $y = 0.1/[1 + \exp(190.6 - 21.1x)]$ . Переход между импактным и фоновым состоянием достаточно резкий, ступень на кривой соответствует удалению 9 км (см. рис. 3).

### ОБСУЖДЕНИЕ

По данным А.В. Степанова с соавт. (1992), проводивших исследования в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината в 1983–1985 гг., зона влияния комбината обеднена мелкими млекопитающими. Авторы отмечают, что “...на загрязненную территорию животные забегают лишь временно и постоянно там не обитают. Бурозубки отлавливались на удалении 3–4 км от комбината, первые полевки отмечены в отловах на удалении 7–8 км”.



**Рис. 3.** Изменение индекса суммарного обилия (экз/100 лов.-сут.) населения мелких млекопитающих в зависимости от расстояния до источника техногенной эмиссии (Карабашского медеплавильного завода). Светлые точки и тонкая линия — 2008 г., черные точки и штриховая линия — 2009 г., жирная линия — без учета года наблюдения; северное и южное направления объединены.

Наши исследования показали, что подобное состояние характерно лишь для участков, отнесенных к зоне “техногенной пустоши”, непригодных для обитания мелких млекопитающих. Такую же картину мы наблюдали и в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (Мухачева, 1996). В то же время можно говорить о существовании в импактной зоне временных локальных поселений мелких млекопитающих. Зверьки занимают немногочисленные микроучастки, где, по-видимому, складываются наиболее благоприятные условия для их существования. Как правило, это небольшие фрагменты понижений рельефа или заболоченные участки с куртинами травянистой растительности. Численность животных на таких микроучастках может достигать величин, зарегистрированных в фоновой зоне.

Сходные результаты были получены нами в ходе исследований населения рыжей полевки в зоне действия Среднеуральского медеплавильного комбината (Мухачева, 2007). Было показано, что экологическая “емкость” фрагментов пихтольников, сохранившихся на импактных участках, примерно на 20% ниже незагрязненных, и в благоприятных условиях локальная плотность населения полевок на этих участках приближается к фоновой. Доля таких микроучастков в импактных зонах невелика: заселяется до 5% общей площади, тогда как на фоновых участках полевки “осваивают” до 60% территории (Лукьянова, Лукьянов, 1998б; Мухачева, 2007).

По нашему мнению, суммарное обилие отражает сумму реакций популяций на комплекс внешних воздействий, а также характер межвидовых взаимодействий внутри сообществ, при этом реакция разных видов на одни и те же средовые градиенты может быть нетождественной. Известно, что факторы техногенной природы оказыва-

ют отрицательное воздействие на общее обилие животных: при приближении к источнику воздействия общая численность зверьков существенно сокращается (Лукьянова, Лукьянов, 1998а; Мухачева, 1996, 2007; Давыдова, 2007; Катаев et al., 1994 и др.). Ожидаемый сдвиг обилия должен отражать степень благополучия существования видов и сообщества в целом в конкретных условиях. Наблюдаемые нами изменения этого показателя свидетельствуют о благополучии (или неблагополучии) условий обитания на рассматриваемой территории.

На наш взгляд, особого внимания заслуживает ярко выраженная нелинейность реакции населения мелких млекопитающих в градиенте техногенного загрязнения среды (см. рис. 3). Форма кривой соответствует классической пороговой зависимости доза-эффект. При этом градиент нагрузки достаточно велик (численность животных изменяется более чем на порядок величин), а участок градиента, на котором происходит скачок между уровнями, крайне мал. Для большинства видов мышевидных грызунов и насекомоядных качество местообитаний становится удовлетворительным на расстоянии 9–11 км от факела выбросов. Ранее подобная реакция на загрязнение среды была показана для других компонентов лесных экосистем (Воробейчик и др., 1994; Воробейчик, 2004).

При приближении к источнику эмиссии изменяется не только численность животного населения, но и его видовой состав, происходит смена доминантов. Наиболее разнообразно население буферных участков. Вероятно, это является следствием более высокой гетерогенности местообитаний, позволяющей существовать на данных территориях как типично лесным животным, так и обитателям разреженных и осветленных биото-

пов. Фоновые территории характеризуются значительной долей в населении насекомоядных, что связано в первую очередь с обилием кормовых объектов и обычно свидетельствует о “незагрязненности” местообитаний (Воробейчик и др., 1994). На импактных участках животные этой группы в отловах не зарегистрированы. Однако при использовании иных методов учета мелких млекопитающих установлено, что в импактных зонах встречаются представители по крайней мере 4 видов насекомоядных.

Таким образом, воздействие факторов техногенной природы приводит к изменению численности и структуры населения мелких млекопитающих. Показатели суммарного обилия изменяются в градиенте загрязнения нелинейно, достигая максимальных значений на буферных территориях. Качество местообитаний становится удовлетворительным на расстоянии 9–11 км от факела выбросов. Трансформация структуры населения сопровождается сменой доминантов. Реакции разных видов нетождественны и определяются их экологической спецификой. Фоновые участки характеризуются преобладанием в составе населения мелких насекомоядных, что свидетельствует о благополучном состоянии этих территорий. Вблизи источника эмиссии население мелких млекопитающих характеризуется крайней малочисленностью и бедностью видового состава. Однако полученные данные позволяют предположить наличие на импактных участках локальных поселений животных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 08-04-91766 и 10-04-01657а), Программы развития научно-образовательных центров (контракт 02.740.11.0279), Президиума РАН (программа “Биологическое разнообразие”) и УрО РАН (программа междисциплинарных проектов).

Авторы признательны д.б.н. Е.Л. Воробейчику, к.б.н. К.И. Бердюгину и к.б.н. М.Р. Трубиной за советы и рекомендации, высказанные в ходе обсуждения данной работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безель В.С.* Экологическая токсикология: популяционный и биоценотический аспекты. Екатеринбург: Изд-во “Гощицкий”, 2006. 280 с.
- Безель В.С., Бененсон И.Е., Садыков О.Ф.* Влияние техногенного загрязнения на динамику численности мелких млекопитающих в мозаичных местообитаниях // Техногенные элементы и живой организм. Свердловск, 1986. С. 37–42.
- Большаков В.Н., Васильев А.Г., Шарова Л.П.* Фауна и популяционная экология землероек Урала (Mammalia, Soricidae). Екатеринбург: УИФ Наука, 1996. 267 с.
- Вольперт Я.Л., Сапожников Г.В.* Реакция населения мелких млекопитающих при различных формах техногенных воздействий на арктические ландшафты // Экология. 1998. № 2. С. 133–138.
- Воробейчик Е.Л.* Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург, 2004. 48 с.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. 280 с.
- Давыдова Ю.А.* Микроструктура семенников рыжей полевки в условиях хронического химического загрязнения среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2007. 24 с.
- Крашанинина Ю.В., Чибиряк М.В.* Структура населения мелких млекопитающих Восточно-Уральского радиоактивного следа // Биосфера земли: прошлое, настоящее и будущее: Мат-лы конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2008. С. 106–118.
- 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. 694–707.
- Москвитина Н.С.* Популяционная экология мелких млекопитающих юго-востока Западной Сибири: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Томск, 1999. 65 с.
- Мухачева С.В.* Экоотоксикологические особенности и структура населения мелких млекопитающих в градиенте техногенного загрязнения среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1996. 26 с.
- Мухачева С.В.* Воспроизводство населения рыжей полевки в градиенте техногенного загрязнения среды // Зоол. журн. 2001. Т. 80. № 12. С. 1509–1517.
- Мухачева С.В.* Особенности пространственно-временного размещения населения рыжей полевки в градиенте техногенного загрязнения среды обитания // Экология. 2007. № 3. С. 178–184.
- Оленев Г.В., Колчева Н.Е.* Хронографическая изменчивость состава и численности мышеобразных Ильменского заповедника // Вестн. ОГУ. 2007 (75). С. 252–257.
- Самойлова Н.М.* Сравнительный анализ сообществ позвоночных сосняков городского лесопарка и заповедника: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2003. 23 с.
- Степанов А.М., Кабиров Р.Р., Черненко Т.В.* и др. Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы южной тайги. М.: ЦЕПЛ, 1992. 246 с.
- Черноусова Н.Ф.* К оценке влияния промышленных выбросов на мелких млекопитающих // Животные в условиях антропогенного ландшафта. Свердловск, 1990. С. 83–91.
- Черненко Т.В.* Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.

- Шилова С.А.* Популяционная организация млекопитающих в условиях антропогенного воздействия // Усп. совр. биол. 1999. Т. 119. № 5. С. 487–503.
- Kataev G.D., Suomela J., Palokangas P.* Densities of microtine rodents along a pollution gradient from a copper-nickel smelter // Oecologia. 1994. № 97. P. 491–498.
- Kozlov M.V., Zvereva E.L., Gilyazov A.S., Kataev G.D.* Contaminated zone around a nickel-copper smelter: a death trap for birds and mammals? // Trend in biodiversity research. New York: Nova Science, 2005. P. 81–101.
- Kozlov M.V., Zvereva E.L., Zverev V.E.* Impact of point polluters on terrestrial biota. Comparative analysis of 18 contaminated areas. Dordrecht et al.: Springer, 2009. 500 p.
- Leffler P., Nyholm N.E.* Nephrotoxic effect in free-living bank voles in a heavy metal polluted environment // Ambio. 1996. V. 25. № 3. P. 417–420.
- Statsoft, Inc. (2001). STATISTICA (data analysis software system) // www.statsoft.com
- Talmage S.S., Walton B.T.* Small mammals as monitors of environmental contaminants // Rev. Invir. Contam. Toxicol. 1991. V. 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. V. 12. P. 173–179.