

МУХАЧЕВА СВЕТЛАНА ВАЛЕРЬЕВНА

На правах рукописи

УДК 599.32-15+509.74.05

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И
СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ
В ГРАДИЕНТЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ**

03.00.16 – экология



Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Екатеринбург – 1996

Работа выполнена в лаборатории экологической диагностики и нормирования Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской Академии Наук.

Научный руководитель доктор биологических наук
Безель В.С.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор Пястолова О.А.

доктор биологических наук,
профессор Тестов Б.В.

Ведущая организация: Уральский государственный
педагогический университет

Защита состоится "19" ноября 1996 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 002.05.01 в Институте экологии растений и животных УрО РАН по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан "___" _____ 1996 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Нифонтова М.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Усиливающаяся деградация природной среды, обусловленная хозяйственной деятельностью человека приобретает все большие масштабы. Современный характер воздействия на биосферу в сочетании с повышенными уровнями загрязнения отдельных регионов создают особые условия для существования природных комплексов и экосистем. Экосистемы промышленных районов Среднего Урала являются уникальным полигоном для исследования процессов антропогенного нарушения биогеоценозов. Повышенные концентрации загрязнителей на территориях, прилегающих к источникам техногенных эмиссий, создают предпосылки для токсического поражения живых организмов, населяющих эти участки. В связи с этим возникает потребность изучения влияния техногенного загрязнения среды на все компоненты биоценозов, включая в том числе и мелких млекопитающих.

Большинство работ по влиянию факторов техногенной природы на мелких млекопитающих выполнено на клеточном, тканевом и организменном уровнях, незначительная их часть касается отдельных характеристик популяционного и ценозического уровней организации в натурной среде обитания (Куликова, 1982; Безель, 1987; Гилязов, Катаев, 1990; Лукьянова, 1990; Гашев, 1991; Wren, 1986; McVee, Vickman, 1990), комплексные исследования реакции сообществ мелких млекопитающих до сих пор единичны. Для выявления вклада техногенных факторов в основные характеристики животного населения необходимы многолетние исследования, тогда как большинство имеющихся работ представляют собой непродолжительные наблюдения.

Экологическая характеристика и особенности населения мелких млекопитающих в условиях техногенного воздействия на территориях, прилегающих к предприятиям металлургического производства, на Среднем

Урале были исследованы Л.Е. Лукьяновой (1990). Настоящая работа является логическим продолжением этого направления с акцентом на экотоксикологические аспекты.

Цель и задачи. Основной целью работы является экотоксикологический анализ жизнеспособности популяций мелких млекопитающих в градиенте токсической нагрузки. Исходя из уже известной феноменологии и поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Исследовать структурные перестройки населения и характер накопления приоритетных поллютантов мелкими млекопитающими в градиенте химического загрязнения в зависимости от типа питания и уровня метаболизма разных видов.
2. Проанализировать реакцию природных популяций мелких млекопитающих на техногенное загрязнение в соответствии с эколого-функциональной спецификой составляющих их субпопуляционных группировок.
3. Изучить отдельные стадии оогенеза (от примордиальных фолликулов до зрелых яйцеклеток), проанализировать плодовитость, характер эмбриональных потерь и особенности постнатального развития особей на импактных и фоновых территориях.
4. Исследовать степень резистентности разных этапов процесса воспроизводства мелких млекопитающих к химическому загрязнению среды (формирование гамет, эмбриональное и постнатальное развитие).

Научная новизна. Впервые в качестве меры интегрального воздействия техногенных загрязнителей на организм животных широко использован показатель суммарной токсической нагрузки, представляющий собой функцию концентраций приоритетных поллютантов в пищевых рационах животных. Выявлена видовая специфика накопления тяжелых металлов мелкими млекопитающими в зависимости от типа питания и интенсивности метаболизма. На примере доминирующего вида (рыжей полевки) детально

проанализированы особенности концентрирования приоритетных загрязнителей в организмах животных. Показано, что природные популяции мелких млекопитающих реагируют на техногенное загрязнение среды обитания в соответствии с эколого-функциональной спецификой составляющих их субпопуляционных группировок. Впервые ход популяционного воспроизводства представлен в виде единой схемы, объединяющей клеточно-тканевые, организменные и популяционные его этапы и стадии. Выявлена неодинаковая резистентность отдельных стадий репродукции к действию токсического фактора. Наиболее устойчивыми к химическому загрязнению среды оказались этапы формирования гамет, максимально уязвимыми – стадии постнатального развития животных. Компенсация повышенной смертности зверьков в условиях техногенного загрязнения осуществляется за счет увеличения плодовитости, снижения эмбриональных потерь и интенсификации полового созревания сеголеток.

Практическая значимость. Материалы диссертации составляют основу грантов по программе "Университеты России" (1994-1995 гг.) и N 94-04-12866-а Российского Фонда Фундаментальных Исследований, а также входят частью в грант 96-04-48013 этого же фонда. Результаты исследований внедрены в виде экспертных заключений при выполнении научно-хозяйственных договоров с Администрацией Свердловской и Оренбургской областей при экологической оценке последствий техногенных (Ревдинско-Первоуральский промузел) и радиоактивных (Восточно-Уральский радиоактивный след, Тощкий полигон) загрязнений.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации были представлены и обсуждены на 1 Международном симпозиуме "Зооиндикация и экотоксикология животных в условиях техногенного ландшафта" (Днепропетровск, 1993), Международном совещании "Состояние териофа-

уны в России и ближнем зарубежье" (Москва, 1995), Международной конференции "Environmental Pollution and Neuroimmuno Interactions and Environment" (Санкт-Петербург, 1995), Первой международной научно-практической конференции "Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность" (Днепропетровск, 1995), III молодежной конференции Института биологии Коми НЦ Уро РАН (Сыктывкар, 1995), Второй Международной конференции "Проблемы устойчивого развития" (Севастополь, 1996), региональных конференциях молодых ученых (Екатеринбург, 1994, 1995, 1996).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и выводов. Работа изложена на 170 страницах машинописного текста, включает 29 таблиц и 35 рисунков. Библиография включает 428 источников, в том числе 179 - на иностранных языках.

ГЛАВА 1 КРАТКАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние техногенных факторов на население мелких млекопитающих изучали на территориях, прилегающих к Среднеуральскому медеплавильному заводу (г. Ревда, Свердловская область). Приводится краткая характеристика источника эмиссии на основе комплексного исследования среды (Воробейчик и др., 1994). Проведено зонирование исследованных территорий, выделены качественно различающиеся по степени поражения экосистем зоны - имактная (0,5-3 км от источника эмиссии) и буферная (3-5 км). В качестве контроля использован участок в 20 км к западу от факела выбросов, на котором техногенная нагрузка была принята в качестве минимальной (на уровне регионального фона). Приводится характеристика местообитаний исследованных территорий. Показано, что для мелких млекопитающих анализируемые участки пред-

ставляют собой серию техногенно измененных местообитаний, степень деградации которых закономерно снижается по мере удаления от источника техногенной эмиссии.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу работы положены материалы, полученные в результате полевых исследований населения мелких млекопитающих в бесснежные сезоны в период 1990-1995 гг. в градиенте техногенно деградированных местообитаний, расположенных на территориях, прилегающих к Среднеуральскому медеплавильному заводу (Средний Урал).

Отлов мелких млекопитающих проводили одновременно в трех зонах техногенной нагрузки. Для массового сбора данных использовали метод ловушко-линий. Давилки выставляли по 25-100 штук с интервалом 5 м на 3-5 суток. В ходе полевых исследований отработано более 28,8 тыс ловушко-суток (из них 21,5 тыс. на техногенной и 7,3 тыс. на фоновой территории), отловлено 1576 экземпляров 11 видов грызунов и насекомых (949 на техногенных участках, 627 - на фоновом). Для характеристики видового разнообразия, обилия и демографической структуры населения мелких млекопитающих использовали данные, полученные по первым 4 суткам отлова. Для анализа уровней накопления тяжелых металлов и оценки репродуктивных показателей использовались также зверьки (396 экз.), отловленные живоловками в те же периоды.

Добытых животных подвергали стандартному морфологическому и морфофизиологическому обследованию (Новиков, 1953; Шварц, Смирнов, Добринский, 1968), детально исследовали состояние генеративной системы (Тупикова, Швецов, 1956; Демидов, Шепель, 1985). Яичники подвергали гистологическому исследованию. Количество фолликулов разных типов (примордиальных, однослойных, многослойных) анализировали на

каждом 5 серийном срезе (Саночки и др., 1970).

В соответствии с функциональным состоянием животных, определяемым спецификой их роста, развития и репродуктивного состояния выделяли три функционально-возрастные группы зверьков: перезимовавших, неполовозрелых сеголетков и половозрелых прибылых, размножающихся в год рождения. Возраст лесных полевок определяли по скорости возрастных изменений зубов (Оленев, 1989).

Процесс репродукции представили как совокупность трех этапов: 1. гаметогенеза (формирование гамет из первичных половых клеток); 2. пренатального периода (развитие оплодотворенной яйцеклетки и плода в матке); 3. постнатального периода (развитие животных от рождения до вступления в размножение). На каждом из этапов механизмы элиминации исключают из процесса дальнейшего развития часть репродуктивного материала. Для оценивания резистентности отдельных этапов репродукции на воздействие естественных и техногенных факторов использовали такие показатели как: соотношение фолликулов разных типов в яичниках, эмбриональные потери, выживаемость сеголетков, долю репродуктивно-активных особей.

Анализ миграционной подвижности населения мелких млекопитающих проводили на основе метода многосуточного безвозвратного изъятия (Лукьянов, 1988, 1993).

Концентрацию тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) в органах и тканях 8 видов мелких млекопитающих определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (Хавезов, Цалев, 1983) на спектрофотометре ААS-3. Проанализировано 2190 образцов, в том числе 934 - скелета, 731 - печени, 296 - почек, 229 - содержимого желудков.

Материал подвергался соответствующей математической обработке с использованием пакетов программ QUATTRO PRO и STATGRAPHICS.

ГЛАВА 3 СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ГРАДИЕНТЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Приведены данные о составе и долевом распределении отдельных видов мелких млекопитающих на фоновых и подверженных техногенному загрязнению участках.

Для характеристики населения мелких млекопитающих, обитающих на нарушенной и фоновой территориях использовали: количество видов, видовое разнообразие, долю редких видов, выровненность, долевое участие видов в сообществе, суммарное обилие видов. Показано, что сообщества мелких млекопитающих на сравниваемых территориях различаются по основным структурным характеристикам. В условиях техногенного загрязнения среды наблюдаются следующие эффекты: 1. изменяются число и набор видов (фон - 12, техноген - 11); 2. увеличиваются показатели видового разнообразия (от 4,7 на фоне до 5,3-6,3 в буферной и импактной зонах соответственно) и выровненности видов по обилию (от 0,2 на фоне до 0,3-0,4 на нарушенных участках); 3. доля редких видов снижается с 0,58 на фоне до 0,37 в импакте.

Анализ долевого участия в населении отдельных видов показывает, что доминантом среди изученных видов является рыжая полевка. Однако, в градиенте техногенной нагрузки наблюдается резкое падение ее доли в населении с 67 % на фоновом участке до 38 % в зоне максимального загрязнения (импакт). Одновременно роль редких видов повышается до статуса обычных, а некоторые достигают ранга содоминантов. Так, в импактной зоне доля красной полевки увеличивается до 10,1 % (по сравнению с 0,3 % на фоновой территории). Лесная мышь становится здесь содоминантом (26,3 %) рыжей полевки, а в отдельные годы (например, в 1990 г.) ее доля в населении достигает 43,2 %, значительно опережая рыжую полевку (29,7 %). Отмеченные различия

связаны с техногенной трансформацией местообитаний вблизи источника техногенной эмиссии, проявляющейся в увеличении мозаичности биотопов вследствие деградации лесных ценозов.

Техногенные нарушения приводят к снижению суммарного обилия видов - с 8,6 (на фоновом участке) до 4,4 (на нарушенных территориях) особей на 100 ловушко-суток ($p < 0,001$). При этом различия в суммарном обилии мышевидных грызунов обусловлены, главным образом, изменениями в численности рыжей полевки и лесной мыши.

ГЛАВА 4 УРОВНИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

В главе рассмотрены экотоксикологические аспекты, связанные с особенностями концентрирования свинца, кадмия, меди и цинка (приоритетных в районе исследования поллютантов) животными в зависимости от удаления от источника эмиссии, видовой принадлежности, типа питания, демографической специфики.

4.1. Концентрация тяжелых металлов в содержимом желудков мелких млекопитающих

Концентрация загрязнителей в содержимом желудков анализировалась для грызунов 3 родов, отличающихся по характеру питания: зеленоядных серых полевок, зерноядных лесных мышей и лесных полевок со смешанным типом питания. Для всех изученных видов концентрация поллютантов в содержимом желудков коррелировала с расстоянием от факела выбросов, уменьшаясь при удалении от источника эмиссии. Так, в рационе рыжих полевок уровни накопления свинца в буферной зоне в 2,9 раза, в импактной - в 3,4 раза превышали фоновые значения, для кадмия и меди превышение составило 2,6-3,8 и 3,6-5,4 раза соответственно. В целом, максимальные уровни тяжелых металлов были заре-

гистрированы в рационе серых полевок (*p. Microtus*), минимальные - у лесных мышей (*p. Apodemus*). Представители *p. Clethrionomys* характеризовались промежуточными концентрациями изученных поллютантов.

Анализ уровней накопления загрязнителей в содержимом желудков особей разного пола и возраста (на примере рыжей полевки) не выявил специфики в кормовом спектре этих субпопуляционных группировок.

4.2. Оценка токсической нагрузки на организм мелких млекопитающих

В качестве интегральной оценки уровня загрязненности среды обитания, обуславливающей поступление поллютантов в организмы животных нами принята их концентрация в содержимом желудков. Мы считаем, что хотя изученные элементы не исчерпывают полный перечень элементов, поступающих с пищей, они могут рассматриваться в качестве маркеров суммарной токсической нагрузки на животных. Оценки токсической нагрузки на организм зверьков, обитающих на техногенно загрязненных участках, были выполнены для представителей 3 родов мышевидных грызунов из симпатрических популяций. Они показали, что суммарная токсическая нагрузка на организм лесных мышей в 2,2 раза превысила фоновые значения, для лесных и серых полевок превышение составило соответственно 2,6-2,9 раза.

4.3. Депонирование тяжелых металлов разными видами мелких млекопитающих, совместно обитающими на фоновых и техногенно загрязненных территориях

Приводятся данные по содержанию тяжелых металлов в скелете и печени 8 видов мышевидных грызунов и насекомых. Показано, что накопление токсикантов у особей разных видов мелких млекопитающих характеризуется видовой специфичностью. В больших количествах они аккумулируются в организмах бурозубок, минимальное содержание пол-

лютантов было отмечено у лесных мышей, лесные полевки занимают по шкале накопления промежуточное положение.

4.4. Особенности депонирования тяжелых металлов в организме мелких млекопитающих (на примере рыжей полевки)

Изучены особенности концентрирования приоритетных поллютантов (Pb, Cd, Cu и Zn) в скелете, печени и почках рыжих полевок. Посредством дисперсионного анализа показаны принципиальные отличия в уровнях и характере накопления необходимых для нормального функционирования (Zn, Cu) и физиологически чужеродных (Pb, Cd) элементов в организме мелких млекопитающих. С увеличением техногенного загрязнения концентрация в организме физиологически необходимых элементов сохраняется на постоянном уровне, тогда как токсических элементов – нарастает. Сделан вывод о наличии естественного биологического барьера на уровне желудочно-кишечного тракта, обеспечивающего в пределах изученных токсических нагрузок внутренний гомеостаз физиологически необходимых элементов.

По мере увеличения загрязнения среды концентрации токсических элементов в организме рыжих полевок возрастают (свинца в скелете в 3-6 раз, кадмия в почках – в 4 раза, кадмия в печени – в 7-8,5 раз), положительно коррелируя при этом с уровнями накопления поллютантов в содержимом желудочно-кишечного тракта. Это свидетельствует о преимущественном поступлении тяжелых металлов в организм животных с пищей. В условиях хронического воздействия токсиканты (Pb, Cd) имеют тенденцию накапливаться в органах преимущественного депонирования. Максимальные концентрации свинца были зарегистрированы в скелете, кадмия – в печени и почках.

Результаты дисперсионного анализа демонстрируют наличие возрастной специфики концентрирования токсикантов. Неполовозрелые при-

былые зверьки характеризовались минимальным содержанием кадмия в почках и свинца в скелете. Половозрелые сеголетки и перезимовавшие рыжие полевки накапливали эти элементы в значительно больших ($p < 0,001$) количествах: по кадмию в почках превышение составило 1,5-2 раза, свинцу в скелете – в 1,1-2,2 раза соответственно. Печень перезимовавших особей содержала на 20 % больше кадмия в сравнении с прибылыми зверьками. Неодинаково концентрировали загрязнители и особи разного пола: самки отличались более интенсивным накоплением цинка в печени и скелете ($p < 0,1$), самцы концентрировали в больших количествах кадмий и медь в скелете, свинец – в печени ($p < 0,1-0,01$). В то же время, не выявлено половой специфики в концентрировании токсических элементов в депонирующих средах.

Таким образом, природные популяции мелких млекопитающих, реагируют на техногенное загрязнение среды обитания в соответствии с эколого-функциональной спецификой составляющих ее внутривидовых группировок. Следствием такой гетерогенности является избирательная элиминация из популяции особей с максимальными уровнями загрязнителей, которая может приводить к деформации демографической структуры и изменению ряда важнейших популяционных характеристик.

ГЛАВА 5 ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ В ГРАДИЕНТЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

5.1. Половая структура

Анализ соотношения полов в населении рыжей полевки техногенных и фоновой территорий показывает, что за исследуемый период на всех участках общее соотношение полов было смещено в сторону самцов, доля которых в населении существенно возрастала с увеличением техногенной нагрузки с 0,55 на фоновом участке до 0,62 в импактной зоне

($\chi^2=8,3$; $df=1$; $p < 0,01$). Максимальный дисбаланс в половой структуре наблюдался в группе неполовозрелых сеголеток из импактной зоны, где на самцов в среднем приходилось около 70 % от состава выборки в сравнении с 58 % на фоновом участке ($p < 0,001$). Таким образом, была отмечена устойчивая тенденция роста доли самцов в населении рыжей полевки при приближении к факелу выбросов. Предполагается, что основной причиной этого является специфика формирования населения техногенных участков, проявляющаяся в преваляровании здесь мигрирующих особей, среди которых преобладают самцы (Лукьянов, 1993; Gaines, McClenaghan, 1980).

5.2 Функционально-возрастная структура населения рыжей полевки в градиенте техногенной нагрузки

Население рыжей полевки сравниваемых территорий существенно различалось по соотношению составляющих его функционально-физиологических групп. Показано, что:

1) Соотношение перезимовавших и прибылых зверьков не зависит от степени техногенной нагрузки: на всех исследованных участках доля сеголеток в населении поддерживалась на одном уровне и составляла около 3/4 общей численности животных в выборках (73,6–79,5 %).

2) Наиболее серьезные различия отмечены в составе прибылых особей: в градиенте техногенного загрязнения по мере приближения к источнику эмиссии доля неполовозрелых сеголеток, составляющих "резерв" популяции, существенно падает ($\chi^2=21,9$; $df=1$; $p < 0,001$). В импактной зоне на зверьков этой функциональной группы приходится в среднем менее 38 % от общего числа сеголеток (или 29,5 % общей численности), соответственно в буферной зоне – 59,5 % (43,8%) и на фоновой территории – 82 % (65,2 %).

3) На техногенных участках (в сравнении с фоном) преобладают

размножающиеся зверьки: в импактной зоне их более 70 % ($\chi^2=41,0$; $df=1$; $p < 0,001$), в буферной – около 56 % ($\chi^2=27,8$; $df=1$; $p < 0,001$). На фоновом участке в размножении участвовало около 1/3 (34,8 %) от общего количества отловленных животных.

Сделан вывод о том, что изменения, наблюдаемые в демографической структуре населения рыжей полевки нарушенных территорий, обусловлены воздействием факторов техногенной природы.

5.3 Миграционная подвижность населения рыжей полевки в градиенте техногенной нагрузки

Для исследования миграционной подвижности населения рыжей полевки были отобраны пробные участки, располагающиеся последовательно на разном удалении от источника техногенных выбросов (1, 2, 4 и 20 км). Анализ численности оседлых и мигрирующих особей рыжей полевки свидетельствует о существовании значительных различий в структуре населения: доминировании мигрирующих особей в сильно деградированных местообитаниях (в 1 км от источника техногенной эмиссии); наличии в населении как оседлых, так и мигрирующих особей в местообитаниях со средним (2 км) и слабым (4 км) уровнем нарушенности; преобладании оседлых особей в ненарушенном местообитании. В градиенте техногенных факторов наблюдались устойчивые изменения общего обилия животных, обилия оседлых и мигрирующих особей и доли мигрантов в населении. Наиболее отчетливая тенденция имела место для доли мигрантов в населении, которая устойчиво снижалась при удалении от источника эмиссии, отрицательно коррелируя с общим обилием животных ($r = - 0,87$). Показано, что вблизи факела выбросов (1 км) создание стабильных поселений оседлых особей исключается, что свидетельствует о крайнем неблагополучии среды обитания для данного вида и невозможности существования как отдельных особей в течение

полного жизненного цикла, так и населения в целом. В этих условиях население рыжей полевки представлено только транзитными особями из сопредельных менее деградированных участков. По мере удаления от источника эмиссии и восстановления качества среды обитания они по своему типу все более приближаются к донорным местообитаниям, в которых возможно устойчивое существование населения.

ГЛАВА 6 ПРОЦЕСС ВОСПРОИЗВОДСТВА У РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ НАРУШЕННЫХ И ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ

6.1. Общая характеристика параметров репродукции

Для оценки успешности размножения использовали следующие показатели: 1) сроки репродукции; 2) интенсивность размножения (гистологический анализ гонад, плодовитость, эмбриональные потери); 3) скорость полового созревания сеголеток; 4) выживаемость зверьков; 5) участие в размножении животных разных демографических групп.

Сроки репродукции. Проведенный анализ показал, что в отдельные годы период размножения на участках, подверженных техногенному воздействию, сокращен за счет запаздывания массового размножения.

Гонады. Гистологический анализ яичников показал, что у самок рыжей полевки, обитающих на техногенно загрязненных и фоновых территориях, оогенез протекает сходным образом. Морфологический и гистологический анализ репродуктивной системы самцов, проведенный ранее (Мамина и др., 1993; Мухачева, Суркова, 1995) показал, что у животных фоновых территорий индекс семенника был ниже, а доля патологических форм сперматозоидов – выше. Однако, в целом, самцы характеризовались нормоспермией. Полученные данные свидетельствуют о том, что в рамках изученных токсических нагрузок репродуктивная система рыжих полевок на этапе формирования гамет характеризуется высокой резис-

тентностью к действию факторов техногенной природы.

Плодовитость. При увеличении техногенной нагрузки потенциальная плодовитость (рассчитанная как среднее число желтых тел беременности на самку) не обнаруживала достоверных отличий, составляя в импактной зоне $6,52 \pm 0,26$, на фоновом участке – $6,62 \pm 0,28$ эмбр. на самку. Наибольшая фактическая плодовитость (среднее число живых эмбрионов на самку) зарегистрирована у зверьков, обитающих в пессимуме ($6,19 \pm 0,23$ эмбр. на самку). При улучшении условий существования наблюдали ее достоверное снижение до $5,76 \pm 0,26$ эмбрионов.

Эмбриональные потери. Общая эмбриональная смертность по мере удаления от источника загрязнения возрастает почти в 3 раза (с 5 % в импактной зоне до 13 % – на фоновом участке). Доимплантационной гибели (определяемой как процентная разница между числом желтых тел беременности и числом имплантировавшихся яиц) принадлежит ведущая роль в структуре эмбриональных потерь, в среднем на нее приходилось 70-90 % общей эмбриональной смертности. При пессимизации среды обитания размер доимплантационных потерь достоверно уменьшается ($p < 0,05$). Смертность эмбрионов после имплантации у самок рыжей полевки на всех исследованных участках отмечалась значительно реже, чем до имплантации; на нее приходилось 1,5-1,6 % от общего количества имплантировавшихся эмбрионов. Сравнение величины до- и постимплантационных потерь у животных, обитающих в разных условиях показало, что минимальными различия оказались у особей, обитающих в пессимальных условиях (0,13), тогда как у самок с фоновых участков между значениями этих признаков обнаружена существенная разница (0,68). Сделан вывод о том, что потенциальная плодовитость максимально реализуется у животных из пессимальных местообитаний. Закономерное изменение величины доимплантационных потерь в градиенте

техногенного загрязнения является ответной реакцией животных на условиях существования, которую следует рассматривать как приспособление, направленное на выживание вида в неблагоприятных условиях. *Доля репродуктивно-активных самок. Скорость полового созревания сеголеток.* В градиенте техногенной нагрузки доля репродуктивно-активных самок достоверно повышалась с $47,5 \pm 1,40$ на фоновом участке до $69,9 \pm 1,59$ - на импактной территории ($F=11,62$; $df=136$; $p < 0,005$). Изменяется и возрастной состав размножающейся части населения. Если на фоновом участке подавляющее большинство самок (около 80 %) с признаками размножения принадлежало к группе перезимовавших особей, то в импактной зоне животные этой возрастной группы составили менее половины (49 %). Предпринята попытка оценить возраст вступления в размножение прибылых самок рыжих полевков из разных зон техногенной нагрузки (с использованием методики Г.В. Оленева, 1989). Выполненные оценки не выявили существенных различий между зверьками из разных зон. Как правило, первая беременность регистрировалась у прибылых самок, достигших возраста 35-40 дней, что согласуется с литературными данными. В то же время интенсивность процессов полового созревания сеголеток (доля достигших половой зрелости) при пессимизации условий обитания существенно (в 3 раза) возрастает. Вероятно, наблюдаемые эффекты являются ответной реакцией на пониженную численность животных в зоне сильного техногенного загрязнения.

Выживаемость рыжих полевков. Наблюдаемые нами значительные различия в численности животных на сравниваемых участках могут быть обусловлены повышенной гибелью зверьков в связи с негативным (как прямым, так и опосредованным) влиянием совокупного техногенного фактора. Сделана попытка оценить смертность полевков на фоновой территории и в зоне интенсивного загрязнения (импакт). На основании полученных

данных можно заключить, что выживаемость полевков на фоновом участке существенно выше, чем вблизи факела выбросов. Так, в летне-осенний период относительная выживаемость молодняка в импактной зоне составляет около 55 % фонового значения.

6.2. Связь показателей репродукции с возрастом и качеством среды обитания

На основе линейного множественного регрессионного анализа (Дрейпер, Смит, 1986) исследовали изменения показателей репродукции рыжей полевки двух демографических групп (перезимовавших самок и размножающихся самок-сеголеток) в зависимости от степени техногенной деградации среды. Использованный метод позволяет выявить отклик частных анализируемых показателей на изменение качества среды обитания и демографические различия животных. Полученные в ходе анализа данные позволили заключить, что плодовитость самок (как потенциальная, так и фактическая) в значительной степени зависит от возраста: перезимовавшие самки отличались большей величиной перечисленных показателей ($p < 0,001$). Качество среды обитания не влияло на количество желтых тел беременности, приходящихся на одну размножающуюся самку, в то время как эмбриональные потери в доимплантационный период и общее число имплантированных эмбрионов зависели ($p < 0,1-0,05$) от степени деградации среды обитания: количество эмбрионов у самок из импактной зоны увеличивалось, доимплантационные потери по мере пессимизации условий существования снижались.

6.3. Общая характеристика воспроизводства в популяциях рыжей полевки при токсическом загрязнении среды обитания и на фоновой территории

Результаты, рассмотренные в п.6.1 были представлены в виде единого графика хода репродуктивного процесса, объединяющего клеточ-

но-тканевые, организменные и популяционные его этапы и стадии. Представленные в относительных единицах они позволяют проследить общее снижение репродуктивного потенциала у животных от развития половых клеток до участия в размножении потомков. Сделан вывод о том, что на этапе гаметогенеза роль токсического фактора выражена слабо. Статистически значимые различия были зарегистрированы на этапах эмбриогенеза и постнатального развития особей. В наибольшей степени различия проявляются на стадии выживаемости прибылых зверьков при переходе к самостоятельному существованию в послегнездовой период. Компенсация повышенной смертности молодняка в импактной зоне осуществляется как за счет интенсификации полового созревания сеголетов, повышенной доли прибылых особей, принимающих участие в размножении, так и посредством увеличения размера выводков. Согласно оценкам население рыжей полевки в условиях интенсивного техногенного воздействия самостоятельно не может поддерживать стабильную численность в течение полного жизненного цикла и пополняется за счет эмиграции зверьков с сопредельных территорий.

Таким образом, специфика процессов воспроизводства обуславливает особенности демографической структуры населения рыжей полевки в градиенте техногенного загрязнения.

ГЛАВА 7 МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ НА ТЕХНОГЕННЫХ И ФОНОВОЙ ТЕРРИТОРИЯХ

Анализ *экстерьерных признаков* (веса тела и линейных характеристик) показывает, что животные, обитающие на фоновых участках, отличаются в целом более крупными размерами ($p < 0,05-0,001$). В наибольшей степени различия проявились в группах перезимовавших полевок обоих полов. Об ухудшении условий существования на нарушенной

территории свидетельствует изменение индекса состояния (отношения веса тела к его длине) - при удалении от факела выбросов он увеличивался, максимальными различия оказались у перезимовавших самцов ($p < 0,01$). Абсолютные значения таких интерьерных показателей как сердце, печень, селезенка и тимус в целом были выше для рыжих полевок фоновых территорий, тогда как вес почки, надпочечника и семенника, напротив, уменьшался при удалении от факела выбросов. Индексы сердца, почки, надпочечника и семенника оказались в целом более высокими у зверьков, обитающих в зонах промышленного воздействия. Более высокие индексы печени, сердца и надпочечников свидетельствуют о более напряженном состоянии животных, населяющих нарушенные участки (Шварц, 1980). Продолжительность обитания грызунов на загрязненных участках является важным фактором, влияющим на их морфофизиологические особенности. Так, у перезимовавших рыжих полевок обоих полов из 26 проанализированных случаев более половины из них (14) обнаруживает достоверные различия у зверьков с фоновых и нарушенных участков. Для прибылых животных существенные отличия интерьерных признаков и их органометрических индексов отмечены в 16 случаях из 60 (26,7%), что почти в 2 раза меньше в сравнении с зимовавшими зверьками.

Анализ индивидуальной изменчивости морфофизиологических признаков особей рыжей полевки выявил, что животные сравнимого возраста, обитающие на нарушенных участках, характеризуются большей (в 1,6 раза) изменчивостью в сравнении с фоновой.

На основе морфофизиологического анализа особей рыжей полевки, населяющих нарушенные и фоновые территории, можно заключить, что животные, населяющие участки вблизи медеплавильного комбината, в целом характеризуются более высоким уровнем обмена веществ, повы-

шенной двигательной активностью, мобилизацией внутренних резервов. Это находит выражение в повышении индексов сердца, почки, надпочечника и семенника у рыжих полевок из зон промышленного воздействия.

Выводы:

1. В градиенте техногенного загрязнения среды население мелких млекопитающих претерпевает существенные структурные перестройки. Изменяются число, набор, степень доминирования видов, видовое разнообразие, выровненность и суммарное обилие. Увеличение концентраций изученных поллютантов (Pb, Cd, Cu, Zn) в рационах вблизи источника эмиссии создает предпосылки для повышенного поступления этих элементов в организмы животных. В ряду мелких млекопитающих, отличающихся типом питания и интенсивностью метаболизма, имела место видовая специфика концентрирования поллютантов в органах и тканях животных. Максимальные уровни изученных элементов в депонирующих средах отмечены у насекомоядных млекопитающих (р. *Sorex*), минимальные - у семеноядных лесных мышей (р. *Apodemus*). Лесные полевки (р. *Clethrionomys*), характеризующиеся смешанным рационом, занимали по шкале накопления промежуточное положение.

2. Характер накопления необходимых для нормального функционирования (Zn, Cu) и физиологически чужеродных (Pb, Cd) элементов в организме мелких млекопитающих обнаруживает принципиальные различия. С увеличением токсической нагрузки концентрация в организме физиологически необходимых элементов сохраняется на постоянном уровне, тогда как токсических элементов - нарастает.

3. Природные популяции мелких млекопитающих реагируют на техногенное загрязнение среды обитания в соответствии с эколого-функциональной спецификой составляющих их субпопуляционных группировок,

что выражается в дифференциации уровней токсикантов, накапливаемых отдельными группами животных. Возможным следствием этого является избирательная элиминация из популяции особей с максимальными уровнями загрязнителей, что ведет к деформации демографической структуры и изменению ряда важнейших популяционных параметров.

4. Пригодность местообитаний для создания устойчивых поселений закономерно снижается в направлении от фоновых и слабонарушенных местообитаний к существенно деградированным. Вблизи источника эмиссии преобладают транзитные временные местообитания, в которых существование животных возможно только в течение наиболее благоприятного летне-осеннего сезона. По мере удаления от источника техногенного воздействия и восстановления качества местообитаний они по своему типу приближаются к донорным, в которых возможно устойчивое существование особей в течение полного жизненного цикла.

5. Процесс репродукции рыжих полевок характеризуется высокой резистентностью к химическому загрязнению среды на этапах формирования гамет, максимально уязвимы стадии постнатального развития. Плодовитость определяется возрастом, фазой популяционной циклики и качеством среды обитания. Потенциальная плодовитость максимально реализуется в пессимальных условиях. Повышение фактической плодовитости и интенсивности созревания сеголетов (доли достигших половой зрелости), а также снижение величины доимплантационных потерь при возрастании совокупной техногенной нагрузки выступают в качестве ответных реакций животных на условия существования, частично компенсирующих возросшую в постнатальный период гибель зверьков.

6. Приспособление популяций эврибионтных видов *Micromammalia* к существованию в условиях техногенного загрязнения осуществляется на основе компенсаторных демографических реакций, что следует расс-

матривать в качестве неспецифической реакции населения на пессимизацию среды обитания.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Мухачева С.В., Безель В.С. Накопление тяжелых металлов мелкими млекопитающими в районе действия медеплавильного комбината // Вест. Днепропетров. ун-та. 1993. Вып. 1. С. 151-152.
2. Мухачева С.В. Влияние выбросов медеплавильного комбината на население рыжей полевки // Биота Урала. Екатеринбург, 1994. С. 35-36.
3. Герасимов А.А., Мухачева С.В. Население мелких млекопитающих // Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург, 1994. С. 205-210.
4. Мухачева С.В. Реакция популяции рыжей полевки на техногенное загрязнение среды // Механизмы поддержания биологического разнообразия. Екатеринбург, 1995. С. 110-112.
5. Мухачева С.В. Специфика воспроизводства в популяции рыжей полевки в условиях техногенного воздействия // Там же. 1995. С. 189-193.
6. Мухачева С.В. Население мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения // Третья молодеж. науч. конф. Ин-та биологии: (Тез. докл.). Сыктывкар: Ин-т биологии Коми научного центра УрО РАН, 1995. С. 45-46.
7. 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.
8. Мухачева С.В., Суркова Т.Ю. Процессы воспроизводства в по-

пуляции рыжей полевки в условиях техногенного загрязнения // Механизмы поддержания биологического разнообразия. Екатеринбург, 1995. С. 112-113.

9. Безель В.С., Мухачева С.В. Характер репродуктивных потерь в популяциях рыжей полевки при токсическом загрязнении среды обитания // Докл. Рос. Акад. наук. 1995. Т. 345. №1. С. 135-137.
10. Безель В.С., Бельский Е.А., Мухачева С.В. Токсическое загрязнение среды: процессы воспроизводства в популяциях млекопитающих и птиц // Устойчивое развитие: Загрязнение окружающ. среды и экол. безопасность: Первая междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 4-8 дек. 1995 г.). Днепропетровск, 1995. Т. 2. С. 64.
11. Mukhacheva S. Specificity of reproduction in the bank vole populations in industrial environment // Sustainable development: Environmental Pollution and Ecological Safety. First Practical Conference, 4-8 December, 1995. Dnipropetrovsk, 1995. Vol. 2. P. 77-78.
12. Mukhacheva S.V. Adaptation of small mammal populations to technogenic pollution of environment // Sustainable development: system analysis in ecology. 2nd Practical Conference, 9-12 September, 1996. Sevastopol, 1996. Vol. 2. P. 144-145.
13. Mukhacheva S.V., Lukyanov O.A. Dispersal of the bank vole along the gradient of technogenic pollutions // Ibid. P. 145.
14. Мухачева С.В., Лукьянов О.А. Миграционная подвижность населения рыжей полевки (*Clethrionomus glareolus*, Schreber, 1780) в градиенте техногенных факторов // Экология. 1996. №5. С. 235-240.

РТП ИНСТИТУТА ЭКОНОМИКИ УРО РАН
07.10.96 Усл. П. Л. 1,0 Тир. 100 Зак. 316