

## Особенности питания рыжей полевки (*Clethionomys glareolus*, Shreber, 1780) в условиях техногенного загрязнения среды обитания

С. В. МУХАЧЕВА

Институт экологии растений и животных УрО РАН  
620144 Екатеринбург, ул. 8-го Марта, 202; e-mail: [msv@ipae.uran.ru](mailto:msv@ipae.uran.ru)

### АННОТАЦИЯ

На примере рыжей полевки, обитающей в условиях аэротехногенного загрязнения среды обитания выбросами медеплавильного комбината (Средний Урал), изучали особенности питания зверьков, принадлежащих к разным субпопуляционным группировкам. Оценены концентрации приоритетных поллютантов в кормовых объектах, а также суточное поступление (с пищей) токсикантов в организм полевок разного пола, возраста и репродуктивного статуса. Показана связь количества ежесуточно потребленного корма с принадлежностью к определенной половозрастной группе. Выявлено, что в пределах одной демографической группы особи с фоновых участков ежедневно потребляли корма больше, чем полевки с нарушенных территорий. Отмечены сезонная специфика концентрирования тяжелых металлов в рационах животных и существенные различия их содержания в корме рыжих полевок разного пола и возраста. Установлено, что с увеличением техногенного загрязнения среды обитания в населении нарушенных участков существенно возрастает доля животных, использующих в пищу кормовые объекты с повышенным содержанием тяжелых металлов.

Повышенные концентрации поллютантов на территориях, прилегающих к источникам техногенных эмиссий, создают предпосылки для токсического поражения живых организмов, населяющих эти участки. Воздействуя в первую очередь на жизнеспособность и репродукцию особей, загрязнители могут оказывать существенное влияние на популяционные характеристики и вызывать сокращение численности и фрагментацию естественных популяций животных. В итоге снижается устойчивость природных экосистем в целом [1–3].

Реакция населения мелких млекопитающих на условия аэротехногенного загрязнения среды обитания выбросами медеплавильного комбината изучается нами с 1990 г. [4–7]. Полученные данные позволили сделать вывод о том, что природные популяции мелких млекопитающих реагируют на техноген-

ное загрязнение среды обитания в соответствии с эколого-функциональной спецификой составляющих их субпопуляционных группировок. На примере доминирующего в районе исследований вида – рыжей полевки – показано, что наиболее уязвимыми этапами жизненного цикла являются именно постнатальные стадии развития, когда организм одновременно сталкивается и с прямым (главным образом, через пищу и органы дыхания), и с косвенным (через качество мест обитаний) воздействием поллютантов [8].

Из литературы известно, что размещение грызунов по биотопам, ход процессов размножения и смертности в значительной степени определяются количеством и качеством корма [9–14]. Имеются также данные о существовании положительной прямой связи между содержанием металлов в кормовых объектах мышевидных грызунов и мел-

ких насекомоядных млекопитающих с их концентрацией в депонирующих средах организма [4, 15, 16]. Приводятся факты, что зверьки сами могут эффективно регулировать поступление некоторых загрязнителей на всех уровнях потребления пищи путем использования разных видов корма [17, 18].

Перед нами стояла цель изучить особенности питания зверьков, принадлежащих к разным субпопуляционным группировкам, оценить концентрации приоритетных поллютантов, поступающих с кормом в организм рыжих полевок, обитающих в градиенте техногенного загрязнения среды обитания, и рассчитать долю особей, использующих в пищу кормовые объекты с повышенным содержанием токсикантов.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы материалы, полученные при изучении населения рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Shreber, 1780) в условиях загрязнения среды обитания выбросами медеплавильного комбината (Средний Урал). Выбор объекта исследования определялся его доминирующим положением в составе сообществ мелких млекопитающих техногенно загрязненных и ненарушенных территорий.

В западном направлении от источника эмиссии выделены качественно различающиеся по степени поражения экосистем зоны: импактная (на расстоянии 0,5–3 км), буферная (3–5 км) и фоновая (в 20 км от факела выбросов, где техногенная нагрузка принята в качестве минимальной – на уровне регионального фона).

Исходный тип лесных сообществ на изученных территориях – пихтово-еловый лес. По мере приближения к источнику эмиссии жизненное состояние древостоя закономерно ухудшается, активизируются процессы его гибели, замедляется возобновление, инсуляризуется горизонтальная структура. Видовой состав травостоя обедняется, лесные виды замещаются луговыми и сорными, но общая биомасса травостоя в градиенте загрязнения остается неизменной. В импактной зоне травяной ярус либо отсутствует, либо состоит из хвоща и злаков. Сильное развитие (до 75 %)

здесь получает моховой покров, который занимает свободное пространство, освободившееся вследствие деградации травяно-кустарничкового яруса. Таким образом, для рыжей полевки анализируемые участки представляют собой серию техногенно измененных местообитаний, степень деградации которых закономерно снижается по мере удаления от источника техногенной эмиссии [6].

В работе использованы данные, полученные в ходе безвозвратного изъятия зверьков давилками методом ловушко-линий в течение бесснежных периодов 1990–2003 гг. Добытых животных подвергали стандартному морфологическому обследованию. В соответствии с функциональным состоянием рыжих полевок, определяемым спецификой их роста, развития и репродуктивного состояния, животных относили к одной из трех групп: перезимовавших особей (Ad), половозрелых сеголетков (Juv) и половозрелых прибылых, размножающихся в год рождения (Sad).

Особое внимание уделяли оценкам репродуктивного состояния животных. Среди самок выделяли неразмножающихся (неполовозрелых, а также зверьков со следами размножения в виде плацентарных пятен, но уже не кормящих), беременных, лактирующих, а также самок, совмещающих беременность с лактацией. Ввиду немногочисленности последней группы далее в анализе ее не рассматривали. У самцов участвующими в размножении считали всех перезимовавших особей, а также прибылых с хорошо развитыми семенными пузырьками и семенниками размером не менее 8–10 мм [19].

Для анализа специфики потребления корма рыжими полевками использованы данные по 1315 особям. Наполненные желудки взвешивали вместе с содержимым. Индекс наполнения желудка вычисляли как отношение массы его содержимого к массе тела (в %). При вычислении массы тела у беременных самок не учитывали общую массу эмбрионов [11].

Далее содержимое желудков ( $n = 613$ ) высушивали до воздушно-сухого состояния и методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе ААС-3 определяли концентрации приоритетных поллютантов. Объем и структура выбросов в течение периода исследова-

Объем использованного материала. Средний Урал, 1990–2003 гг.

Исследованный участок	Оценка наполнения желудков	Количество проб на химический анализ				
		Свинец	Кадмий	Медь	Цинк	Всего
Фоновый	637	275	288	2288	281	1132
Буферный	415	170	182	180	176	708
Импактный	263	138	143	141	141	563
В целом	1315	583	613	609	598	2403

ний были почти постоянными, мощность выбросов составляла 140–160 тыс. т/год [20]. Спектр тяжелых металлов, аэрозоли которых поступают в атмосферу и загрязняют природную среду в районе исследований, широк, поэтому мы остановились на меди, цинке, свинце и кадмии, доля которых в выбросах наиболее высока. В ходе анализа выполнено более 2400 элементоопределений (табл. 1).

Суммарную токсическую нагрузку ( $S_n$ ) для каждой зоны рассчитывали по формуле

$$S_n = 1/n \sum (C_{ij}/C_{if}),$$

где суммирование ведется по  $n$  элементам,  $C_{ij}$  – концентрация  $i$ -элемента в  $j$ -зоне, а  $C_{if}$  – концентрация  $i$ -элемента в содержимом желудочно-кишечного тракта зверьков фонового участка [4]. Статистическую обработку данных проводили с использованием прикладных программ STATISTICA.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Концентрация поллютантов в рационах полевок. Суммарная токсическая нагрузка*

Рыжая полевка обладает высокой экологической пластичностью, ее кормовой спектр весьма широк и включает вегетативные части травянистых растений, семена, ягоды, почки и кору, мхи, лишайники, грибы, различных беспозвоночных, иногда мелких позвоночных животных [21, 22]. Содержимое желудков является одним из наиболее распространенных показателей, характеризующих состав питания, сезонный и многолетний характер изменений кормового спектра животных.

Логично было бы ожидать, что естественные рационы животных с участков, подвер-

женных интенсивному техногенному воздействию, характеризуются более высокими концентрациями тяжелых металлов по сравнению с фоновыми. Действительно, полученные нами данные показывают, что по мере приближения к факелу выбросов они возрастают для цинка в 2–2,5 раза, для кадмия – в 2,2–3,7 раза, для свинца – в 3,5–7,9, а для меди – в 6,4–14,7 раза (табл. 2). Перечисленные элементы не исчерпывают перечень поллютантов, поступающих с пищевым рационом, но могут рассматриваться в качестве маркеров их суммарного потребления животными с кормом.

Традиционно для оценки токсической нагрузки на организм млекопитающих большинство авторов оперирует данными по содержанию токсических элементов в объектах внешней среды. Однако пространственные перемещения млекопитающих по территории и разнообразие их рациона не позволяют адекватно оценить поступление в организм полевок токсических элементов по их содержанию в растительных объектах.

В качестве интегральной оценки уровня загрязненности среды обитания, обуславливающей поступление поллютантов в организмы животных, мы использовали данные об их концентрации в содержимом желудков. Выполненные нами дифференцированные оценки показали, что на буферных участках суммарная токсическая нагрузка ( $S_n$ ) в 3,5 раза превышает фоновые значения, достигая в непосредственной близости от факела выбросов (1 км) 7-кратных различий (см. табл. 2).

Эти результаты хорошо согласуются с данными по изменению величины общей токсической нагрузки на биоценоз в целом, полученными ранее на основании оценок валового выпадения меди, цинка и свинца за зиму

Концентрации приоритетных поллютантов в рационах рыжих полевок из разных зон техногенного загрязнения. Средний Урал, 1990–1998 гг.

Поллютант	Показатель	Зона техногенного загрязнения			
		Фоновая, 20 км	Буферная, 4 км	Импактная, 2 км	Импактная, 1 км
Свинец	$M \pm m$	10,365±0,743	36,733±2,930	51,460±5,440	81,857±10,471
	$N$	275	170	94	44
	$S$	12,319	38,204	92,747	69,460
Кадмий	$M \pm m$	1,692±0,126	3,787±0,257	6,301±0,426	5,029±0,444
	$N$	288	182	97	46
	$S$	2,146	3,475	4,194	3,016
Цинк	$M \pm m$	100,414±3,434	197,395±17,81	223,804±13,332	252,915±17,301
	$N$	281	176	96	45
	$S$	57,523	236,286	130,629	116,057
Медь	$M \pm m$	20,873±0,945	134,201±11,332	194,542±17,078	307,981±33,772
	$N$	288	180	96	45
	$S$	16,045	152,028	167,336	226,549

(по содержанию поллютантов в снеге). Согласно этим расчетам, общая токсическая нагрузка на биоценоз в импактной зоне превышала фоновый уровень в 5,1, на буферной территории – в 1,7 раза [20].

Трехфакторный дисперсионный анализ позволяет судить о значимости наблюдаемых нами эффектов (табл. 3). На основании полученных результатов можно сделать вывод о закономерном изменении концентраций изученных поллютантов в рационах зверьков в градиенте токсической нагрузки.

Сравнительный анализ половозрастной специфики концентрирования тяжелых металлов в рационах рыжих полевок в градиенте техногенного загрязнения среды обитания выявил существенные различия в уровнях накопления изученных элементов в пище животных разных демографических групп. Оказалось, что в рационах перезимовавших зверьков меди, цинка и свинца содержится

гораздо больше, чем у сеголеток, причем наблюдаемые различия тем существенней, чем выше токсическая нагрузка. Проиллюстрируем это на примере свинца (рис. 1). Так, на фоновом участке кормовые объекты у полевок разного возраста содержат этот элемент примерно в равных количествах, тогда как в импактной зоне его концентрация у перезимовавших животных в 1,5–2,5 раза выше, чем у прибылых особей.

На наш взгляд, наблюдаемые различия могут быть обусловлены либо возрастной спецификой рациона, либо сезонными изменениями как самого спектра используемых зверьками кормов, так и неодинаковыми уровнями содержания поллютантов в кормовых объектах в течение бесснежного периода.

Согласно литературным данным, существенных различий рациона в разных половых и возрастных группах не найдено. Однако в пределах всего ареала данного вида хо-

Т а б л и ц а 3

Уровень значимости эффектов по  $F$ -критерию для особей рыжей полевки. Средний Урал, 1990–1998 гг.

Элемент	Факторы и их взаимодействие						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
Свинец	***	***	*	***	*	–	**
Кадмий	***	–	–	–	–	–	*
Медь	***	***	*	*	*	–	*
Цинк	***	*	–	–	–	–	–

П р и м е ч а н и я. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа с постоянными эффектами. Фактор А – исследованный участок, фактор В – возраст зверьков, фактор С – пол животных. Уровень значимости по  $F$ -критерию: \*\*\* –  $p < 0,001$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \* –  $p < 0,05$ .

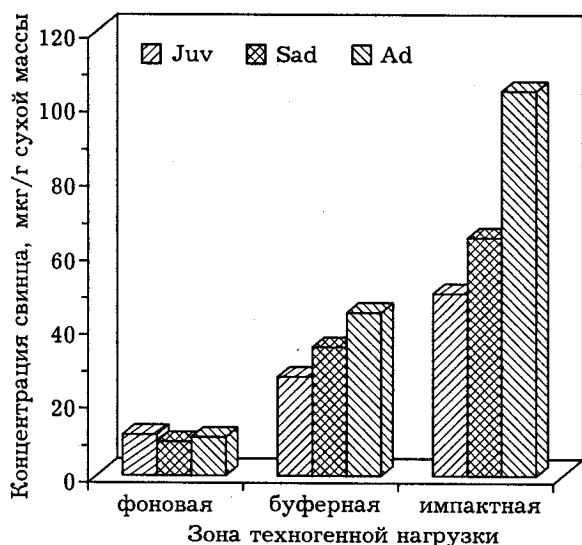


Рис. 1. Накопление свинца в рационе рыжих полевков разного возраста в градиенте ТН.

	Фоновая	Буферная	Импактная
Juv	11,015	26,73	49,34
Sad	9,188	34,794	64,502
Ad	10,359	44,243	103,9

рошо выражены сезонные и биотопические изменения питания рыжей полевки. В связи с этим сильно отличается соотношение основных компонентов пищи, видовой состав кормовых объектов, а также число используемых кормов [21, 22]. Полагая, что исследованные участки, где проводили отлов животных, расположены в одном типе леса (несмотря на имеющую место техногенную трансформацию местообитаний), биотопической специфике питания мы не придавали большого значения.

По нашему мнению, гораздо больший вклад вносят сезонные изменения как самого состава кормов, так и особенностей распределения поллютантов в пищевых объектах в течение бесснежного периода. Рассмотрим сезонную динамику концентрации поллютантов в рационах полевков в градиенте техногенного загрязнения среды обитания на примере свинца (рис. 2). На фоновом участке концентрация этого токсиканта в корме на протяжении весеннего, летнего и осеннего периодов находится примерно на одном уровне. По мере приближения к факелу выбросов сезонные различия в содержании свинца — от весны к осени — усиливаются, достигая максимума (около 30 раз) в непосредствен-

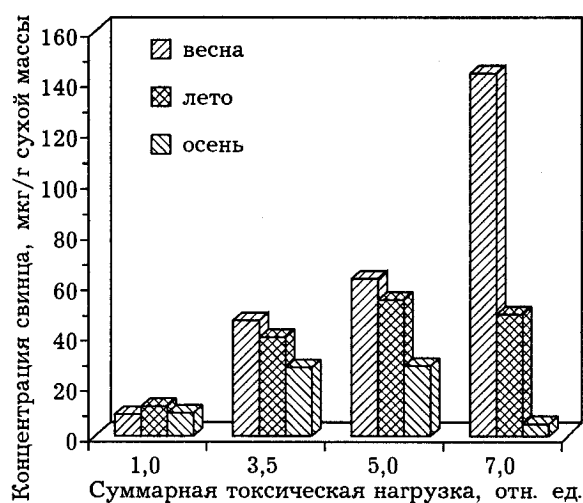


Рис. 2. Сезонная динамика концентрации свинца в рационе РП в градиенте техногенного загрязнения среды обитания.

	1	3,5	5	7
Весна	8,537	45,915	62,372	143,247
Лето	11,759	39,156	53,986	48,333
Осень	9,072	27,202	27,883	4,76

ной близости от источника эмиссии. Аналогичная картина наблюдается и для двух других металлов: для меди сезонные различия составляли более 11 раз, для цинка — 2,4 раза. Мы полагаем, что такие изменения обусловлены дополнительным поступлением тяжелых металлов в весенний период с талыми водами, поскольку в снеге они концентрировались на протяжении всей зимы. Подводя итог сказанному, можно предположить, что решающим в данном случае является фактор сезонности, на который накладываются различия в возрастном составе выборок в бесснежный период. Так, весной (апрель-май), когда зафиксированы максимальные различия в уровнях металлов в пище, добывались только перезимовавшие рыжие полевки. В летний период в рационе перезимовавших зверьков анализируемые элементы содержались примерно в тех же, либо даже в меньших количествах в сравнении с прибылыми особями. Осенью в отловах регистрировались лишь сеголетки.

Концентрация кадмия в корме рыжих полевков на всех изученных участках в течение бесснежного периода изменялась иначе (рис. 3). В весенний период регистрировались высокие уровни токсиканта в корме, летом его

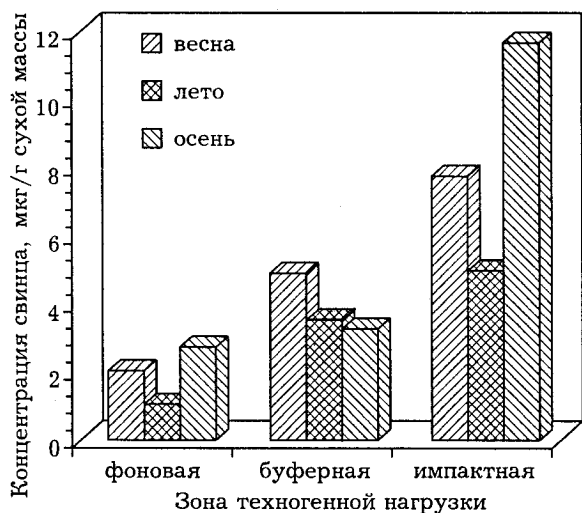


Рис. 3. Сезонная динамика концентрации кадмия в рационе рыжей полевки в градиенте техногенного загрязнения среды обитания.

	Весна	Лето	Осень
Фоновая	2,03	1,04	2,73
Буферная	4,91	3,54	3,27
Импактная	7,75	4,98	11,66

концентрации снижались в 1,2–1,8 раза на нарушенных участках и в 1,9 раза на фоновой территории. В осеннем рационе рыжих полевок на всех территориях дальнейшего понижения уровня кадмия не наблюдали. Более того, в фоновой и импактной зонах зарегистрирован более чем двукратный рост концентрации этого элемента в корме полевок (в 2,6 и 1,5 раза соответственно).

Значимые различия обнаружены по содержанию свинца и меди в рационах особей разного пола (см. табл. 3). Согласно полученным данным, самки использовали в пищу корм, содержащий эти металлы в больших количествах, чем самцы. Так, для свинца превышение, как правило, составляло от 15 до 30 %, в отдельных случаях достигая 6-кратных различий (для группы половозрелых сеголеток в импактной зоне). Для меди выявлены сходные изменения: в каждой зоне рацион самок содержал на 10–50 % больше меди. Как исключение можно отметить два случая, когда прибылые самки, добытые вблизи факела выбросов, поедали корма, содержащие на 40 % меди меньше, чем самцы-сеголетки. На фоновом участке в пище половозрелых прибылых самок также зарегистрировано на 40 % меньше свинца в срав-

нении с самцами. Можно предположить, что наблюдаемые различия связаны с неодинаковой интенсивностью передвижения зверьков по территории, а также с различиями в физиологическом состоянии животных, поскольку оба фактора оказывают влияние на рацион зверьков [10, 21].

#### Доля особей с повышенным содержанием поллютантов в рационе

Данные о концентрациях приоритетных поллютантов в кормовых объектах отдельных особей, конечно, представляют определенный интерес, но они не могут показать общей картины загрязненности кормовой базы животных в градиенте аэротехногенного загрязнения среды в целом. Из литературы известно о высокой степени мозаичности распределения поллютантов в почве и в растительности [23]. Поэтому, на наш взгляд, более показательным будет определение доли зверьков, употребляющих в пищу корм, содержащий токсические элементы в количествах, превышающих фоновые значения.

В качестве пограничных фоновых значений для дальнейшего сравнительного анализа нам представляется правомерным исполь-

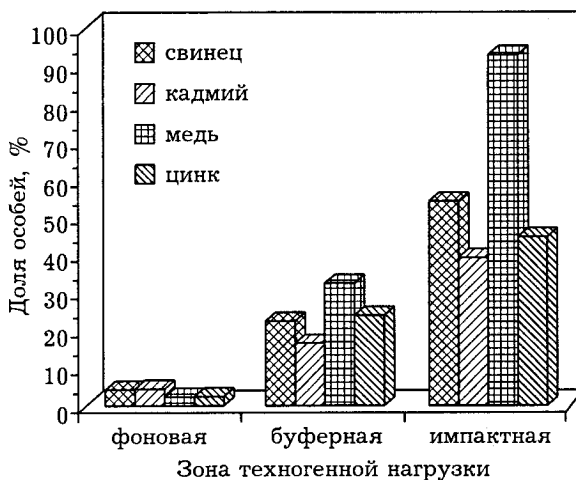


Рис. 4. Доля особей, использующих в пищу корм с повышенным содержанием тяжелых металлов.

	Свинец	Кадмий	Медь	Цинк
Фоновая	4,3	4,5	2,4	2,5
Буферная	22,4	16,5	32,4	23,9
Импактная	54,3	39,2	92,9	44,7

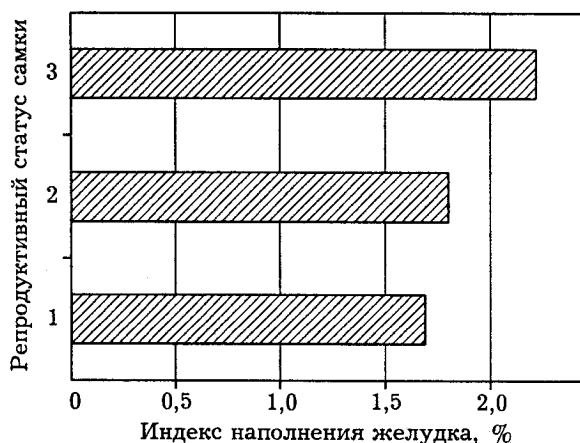


Рис. 5. Индекс наполнения желудков в зависимости от репродуктивного статуса самок.

Неразмножающиеся	1,69 НР	1,69
Беременные	1,8 Б	1,8
Лактирующие	2,22 Л	2,22

зовать 95 % доверительный интервал фоновых концентраций соответствующих металлов в рационах зверьков, отловленных в «чистой» зоне, где  $S_n = 1,0$ . Оказалось, что на фоновой территории от 2 до 5 % зверьков употребляют в пищу корм, содержание анализируемых металлов в котором превышает пограничные значения (рис. 4). На буферных участках таких зверьков от 15 до 30 %. В рационе подавляющего большинства рыжих полевок, населяющих импактную зону, пищевые объекты содержат больше меди (более 90 %), примерно у половины зверьков отмечено превышение по свинцу, а более чем у трети – по кадмию и цинку.

Полученные результаты позволяют сделать заключение о том, что с ростом техногенного загрязнения среды обитания в населении нарушенных участков существенно возрастает доля животных, использующих в пищу кормовые объекты с повышенным содержанием тяжелых металлов.

#### **Количество корма, потребляемого рыжими полемками**

Об особенностях питания животных в природных условиях можно судить не только по составу содержимого их желудков, но и по уровням их наполнения. Результаты сравнительного анализа позволяют заключить, что у рыжих полевок, добытых в течение

бесснежного периода, масса содержимого желудков существенно ( $p < 0,05$ ) различалась в зависимости от пола и возраста животных, но практически не зависела от степени техногенного загрязнения среды обитания.

Минимальный уровень наполнения желудков зарегистрирован у неполовозрелых рыжих полевок, причем у самцов и самок он практически не различался: средняя масса порции корма – 0,91 и 0,92 г соответственно. Максимально были наполнены желудки у перезимовавших самок (1,85 г), в меньшей степени – у половозрелых прибылых самок (1,52 г). Половозрелые самцы – как сеголетки, так и перезимовавшие особи – характеризовались промежуточными значениями этого показателя (1,09 и 1,34 г соответственно).

Из литературы известно, что интенсивность потребления корма грызунами зависит от их физиологического состояния. Действительно, одним из важнейших факторов, определяющих степень наполнения желудка самок, был репродуктивный статус животного (рис. 5). Максимальная средняя масса порции корма отмечалась в группе лактирующих самок. Так, в июле она составляла 2,3 г, превышая наполненность желудков неразмножающихся самок более чем в 2 раза. В группе беременных самок такое превышение составило более 50 %. Представленные данные, на наш взгляд, хорошо согласуются с фактами, приведенными в литературе, что потребление энергии в период беременности возрастает на 1/4, а при лактации – примерно в 2 раза. В эксперименте показано, что в первую декаду лактации масса смешанного корма, съеденного кормящей самкой рыжей полевки, в 1,9 раза превышает контрольные значения [11].

Масса наполненных желудков ювенильных самцов лишь на 25–30 % ниже, чем у особей старшего возраста. Вероятно, для самцов определяющим является объем желудка, а не функциональное состояние особей. Для получения объективных данных по интенсивности потребления корма полемками разных функционально-возрастных групп целесообразно, на наш взгляд, использовать относительные показатели, например индекс наполнения желудков. Отметим, что тенден-

ции, выявленные в ходе сравнительного анализа массы порции корма, в целом сохраняются. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа показывают, что качество местообитаний не влияет на относительное наполнение желудков рыжей полевки, тогда как пол ( $df = 1$ ;  $F = 22,03$ ;  $p < 0,001$ ) и возраст ( $df = 2$ ;  $F = 3,36$ ;  $p < 0,05$ ) животных оказывает существенное влияние на величину данного параметра.

Прибылые самцы в градиенте техногенного загрязнения среды обитания почти не различались по индексу наполнения желудков, в пересчете на сухую массу он изменялся от 1,4 до 1,8 %. Для перезимовавших зверьков этот показатель варьировал от 1,2 до 1,6 %, причем у самцов, добытых в зоне максимального загрязнения, отмечено снижение относительного уровня потребления корма примерно на 25 % по сравнению с животными буферного и фонового участков.

Другими авторами также отмечено снижение потребления пищи полевыми, находящимися в условиях естественного пессимума на северных границах ареала обитания [11]. У красных полевок из районов нефтегазовых разработок отмечали снижение уровня потребления пищи и замедление ее продвижения по желудочно-кишечному тракту. Кроме того, у зверьков отмечены существенные изменения в структуре слизистой пищеварительного тракта и нарушения в функционировании симбиотических [24]. Результаты исследования слизистой желудка у диких мышевидных грызунов, обитающих в условиях антропогенного загрязнения среды, демонстрируют сходные изменения и позволяют сделать вывод об универсальности механизмов структурного реагирования, развертывающегося в условиях действия комплекса антропогенных факторов разной природы [25]. Можно предположить, что подобные изменения имеют место и у животных, населяющих территории, загрязненные многокомпонентными выбросами мезоплазменного комбината. Подтверждением этому может служить и тот факт, что при рассмотрении выборки за один год (1995,  $n = 371$ ), когда численность животных была высокой, мы наблюдали закономерное ( $df = 3$ ;  $F = 4,246$ ;  $p < 0,01$ ) снижение индекса наполнения желудка (примерно на 1/5) при увеличении сум-

марной токсической нагрузки. Так, на фоновом участке он составлял (в расчете на сухую массу) 1,97 %, на слабо нарушенных территориях – 1,73 %, в импактной зоне снижался до 1,67–1,62 (при  $S_n = 5$  и 7 соответственно).

На примере самцов прослеживается зависимость относительного потребления корма от возраста животных. Известно, что интенсивность питания молодых животных выше, чем взрослых. Так, по данным Г. В. Кузнецова и А. П. Михайлина [11], молодые зверьки по отношению к массе тела потребляют в 1,5 раза больше корма, чем взрослые. В нашем случае подобные тенденции, хотя и не столь явные, также имеют место. По мнению ряда авторов [26, 27], такая закономерность объясняется относительно большими величинами поверхности желудочно-кишечного тракта у молодых животных и более высокими энергетическими потребностями растущего организма [28].

Различия в интенсивности потребления корма у самок обусловлены главным образом репродуктивным статусом животных ( $df = 2$ ;  $F = 4,35$ ;  $p < 0,01$ ). Так, индекс наполнения желудка у лактирующих самок превышал таковой у неразмножающихся на 25 % (в пересчете на сухую массу 2,2 и 1,7 % соответственно). В группе беременных самок превышение не столь значительно (1,8 %), но достоверно. Причем наши данные расходятся с результатами, полученными для рыжих полевок из естественных местообитаний в Тульских засеках [11]. Согласно последним, наименьший уровень наполнения желудка отмечался у беременных самок, в то время как максимальное количество корма (в 1,5–2 раза больше) зарегистрировано в желудках небеременных самок. Авторы, правда, не выделяли в отдельную группу лактирующих особей, возможно, этим и объясняются наблюдаемые различия.

#### **Среднесуточное потребление корма особями разных функционально-возрастных групп**

Данные, приводимые в литературе, говорят о том, что для рыжей полевки норма суточного потребления смешанного корма составляет 5–7 г. В июле при полноценном



Примерное среднесуточное потребление корма (г) рыжими полевками разных функционально-возрастных групп (в пересчете на сухую массу)

Пол животных	Функционально-возрастная группа	Исследованная территория	
		Фоновая	Нарушенная
Самцы	Juv	2,80	2,76
	Sad	3,05	2,96
	Ad	3,48	3,30
Самки	Juv	2,77	2,76
	Sad	3,26	3,12
	Ad	3,68	3,48
Самки	Неразмножающиеся	2,95	2,96
	Беременные	3,59	3,42
	Лактирующие	3,86	3,40

смешанном рационе одна особь в среднем потребляет 0,693 г пищи на 1 г массы тела [21].

Согласно исследованиям, выполненным Г. В. Кузнецовым и А. П. Михайлиным [11], потребление корма рыжими полевками возрастает по мере роста зверьков и описывается уравнением  $Y = 1,42 + 0,08x$ , где  $Y$  – суточное потребление,  $x$  – масса тела. Используя эту формулу, а также привлекая собственные данные по массе полевок разного пола и возраста в градиенте техногенной нагрузки [7], рассчитаем примерное суточное потребление пищи зверьками (табл. 4). На основании выполненных оценок можно заключить, что животные обоих полов ежедневно используют пищи тем больше, чем они старше. Кроме того, особи с фоновых участков ежедневно в среднем потребляют корма больше (до 5 %), чем полевки нарушенных территорий.

Однако для самок, у которых интенсивность использования пищи в значительной степени определяется репродуктивным статусом особей, для расчетов среднесуточного потребления корма, нам кажется более правильным использовать не возрастное, а функциональное деление на группы. В данном случае минимальное количество пищи за сутки съедают небеременные самки, далее следуют беременные и лактирующие особи. На фоновой территории все изменения, отмеченные нами ранее для самок соответствующего репродуктивного статуса, сохраняются. В то же время количество корма, ежедневно используемого в пищу лактирующими

самками на нарушенных участках, сравнимо с данными, полученными для беременных особей, добытых в тех же зонах. Кроме того, расчетное потребление корма лактирующими самками с техногенно загрязненных участков примерно на 10 % ниже значений для кормящих самок фоновой участка. На наш взгляд, наблюдаемые различия объясняются тем, что в формуле для расчета среднесуточного потребления пищи используется масса тела животного, которая, как известно, зависит от возраста. Согласно полученным ранее данным [29], в градиенте техногенного загрязнения среды обитания происходит трансформация функциональной структуры населения, которая выражается в интенсивном половом созревании сеголеток и включении их в размножение в год рождения на нарушенных территориях (от 40 до 70 % от общего числа прибылых на буферных и импактных участках соответственно). В связи с этим средняя масса репродуктивно активных особей обеих групп – беременных (25,10 г) и лактирующих самок (24,77 г) – оказалась ниже в сравнении с таковыми фоновых участков (27,06 и 30,48 г соответственно).

#### *Суточное поступление токсикантов в организмы рыжих полевок с пищей*

Располагая данными о величине среднесуточного потребления корма рыжими полевками разного пола, возраста и репродуктивного статуса, а также зная концентрации поллютантов в рационе, можно оценить

Суточное поступление поллютантов в организм особей рыжей полевки с кормом (расчетные значения) в градиенте техногенного загрязнения среды обитания. Средний Урал

Участок исследований	Суточное поступление металлов с рационом, мкг/г массы тела			
	Свинец	Кадмий	Медь	Цинк
		<i>Самцы</i>		
Фоновый	0,9-2,1	0,2-0,3	2,3-4,5	13,4-15,4
Буферный	3,8-5,8	0,4-0,6	12,7-17,3	19,3-33,3
Импактный	2,4-13,7	0,4-1,8	11,5-52,6	25,8-45,0
		<i>Самки</i>		
Фоновый	1,1-1,9	0,2-0,4	2,4-3,7	12,0-16,7
Буферный	4,2-6,3	0,4-0,7	15,8-25,4	20,2-29,6
Импактный	6,9-15,6	0,5-1,1	19,9-57,6	29,1-43,3

суточное поступление тяжелых металлов в организм животных с пищей (табл. 5).

Полученные расчетные данные дают представление об уровнях поступления приоритетных поллютантов в организмы рыжих полевок, обитающих в градиенте техногенного загрязнения среды обитания, и оценить возможности прямого токсического действия изученных тяжелых металлов на животных.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммарная токсическая нагрузка ( $S_n$ ), представляющая собой функцию приоритетных поллютантов в пищевых рационах рыжих полевок на слабо нарушенных территориях, превышала фоновые значения в 3,5 раза, на импактных участках различия достигали 5-7 раз.

В ходе сравнительного анализа содержания поллютантов в рационах рыжих полевок разного пола и возраста выявлены существенные различия в концентрациях тяжелых металлов в пище животных, принадлежащих к разным функционально-возрастным группам. В корме перезимовавших полевок изученные металлы содержались в больших количествах ( $p < 0,001$ ) в сравнении с прибылыми особями, пища самок была, как правило, более "загрязненной", чем у самцов. Другой причиной наблюдаемых различий был фактор "сезонности": весенний набор кормов, используемый рыжими полемками, содержал металлы в значительно больших количествах в сравнении с летне-осенним периодом. По мере приближения к источнику эмиссии наблюдаемые различия усиливались. Выявля-

но, что с ростом техногенного загрязнения среды обитания в населении нарушенных участков существенно возрастает доля животных, использующих в пищу кормовые объекты с повышенным содержанием тяжелых металлов. Причем животные обоих полов ежесуточно используют пищи тем больше, чем они старше. Кроме того, особи с фоновых участков ежедневно в среднем потребляют корма больше, чем полевки нарушенных территорий. Одним из важнейших факторов, определяющих степень наполнения желудка самки, является репродуктивный статус животного, тогда как для самца важен объем желудка, а не функциональное состояние особи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем, М., Мир, 1988.
2. В. С. Безель, В. Н. Большаков, Е. Л. Воробейчик, Популяционная экотоксикология, М., Наука, 1994.
3. Жизнеспособность популяций: Природоохранные аспекты, М., Мир, 1989.
4. С. В. Мухачева, В. С. Безель, *Экология*, 1995, 3, 237-240.
5. С. В. Мухачева, Состояние териофауны в России и ближнем зарубежье, М., 1996, 242-247.
6. С. В. Мухачева, О. А. Лукьянов, *Экология*, 1997, 1, 34-39.
7. С. В. Мухачева, Проблемы изучения биоразнообразия на популяционном и экосистемном уровне, Матер. конф., Екатеринбург, 1997, 142-153.
8. С. В. Мухачева, *Зоол. журн.*, 2001, 80: 12, 1509-1517.
9. А. Н. Формозов, *Учен. зап. МГУ, Биология*, 1937, 11.
10. А. Г. Воронов, *Бюл. МОИП. Отд. биол.*, 1955, 60: 5, 21-30.
11. Г. В. Кузнецов, А. П. Михайлин, Млекопитающие в наземных экосистемах, М., Наука, 1985, 127-156.

12. В. А. Межжерин, О. А. Михалевич, *Экология*, 1983, 5, 49–56.
13. В. L. Young, *Can. J. Zool.*, 1984, 6, 1211–1217.
14. W. Andrzejewski, B. Andrzejewska, *Acta Theriol.*, 1996, 41: 1, 1–34.
15. Н. Н. Ефимов, Биогеохим. ореолы рассеяния хим. элементов в экосист. Дал. Вост., Владивосток, Ин-т вод и экол. пробл., 1991, 36–50.
16. В. А. Hunter, M. S. Johnson, D. J. Thompson, *J. Appl. Ecol.*, 1989, 26: 1, 89–99.
17. О. А. Зайченко, Природоохранные аспекты освоения ресурсов Минусинской котловины, Иркутск, Шушенское, 1981, 51–60.
18. В. А. Hunter, M. S. Johnson, D. J. Thompson, *J. Appl. Ecol.*, 1987, 24: 2, 601–614.
19. Н. Н. Воронцов, *Тр. ЗИН АН СССР*, 1961, 29, 101–136.
20. Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафонов, Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень), Екатеринбург, УИФ Наука, 1994.
21. Европейская рыжая полевка, М., Наука, 1981.
22. *Ann. Zool. Fenn.*, 1985, 22: 3, 315–318.
23. Е. Л. Воробейчик, Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук., Екатеринбург, 2004.
24. Е. И. Наумова, Н. Г. Нестерова, Г. К. Жарова и др., Териол. съезд, М., 1999.
25. Г. И. Непомнящих, С. В. Айдагулова, Л. М. Непомнящих, *Бюл. эксперим. биол. и мед.*, 1996, 122: 12, 682–686.
26. В. Р. Дольник, *Журн. общ. биол.*, 1982, 43: 4, 435–454.
27. Б. Д. Абатуров, М. В. Холодова, А. Е. Субботин, *Зоол. журн.*, 1982, 61, 1870–1881.
28. Н. М. Кулюкина, Териофауна России и сопредельных территорий. Мат. Междунар. совещ. 6–7 февраля 2003 г., М., 2003.
29. С. В. Мухачева, Экотоксикологические особенности и структура населения мелких млекопитающих в градиенте техногенного загрязнения среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Екатеринбург, 1996.

## **Peculiarities of Feeding of Redbacked Voles (*Clethrionomys glareolus*, Shreber, 1780) Under the Conditions of Man-Made Habitat Pollution**

S. V. MUKHACHEVA

On the example of redbacked vole living under the conditions of aerotechnogenous environment pollution with discharges of a copper-smelting plant (the Middle Urals), peculiarities of feeding of animals belonging to different subpopulation groups were studied. Concentrations of priority pollutants in feeding objects and daily supply (with food) of toxicants to the organism of voles of different sex, age and reproduction stage are estimated. Association of the amount of daily consumed food and belonging to a certain sex-age group is demonstrated. It is shown that within one demographic group individuals from background sites consumed more food than voles from disturbed territories did. A seasonal specificity of concentration of heavy metals in animals' ration and considerable differences of their content in the food of redbacked voles of different gender and age are noted. It is established that as man-made pollution of habitat increases, so does the proportion of animals in the population of disturbed sites that consume feeding objects with an increased content of heavy metals.