

Состояние животного населения в зоне воздействия Норильского промышленного комплекса

А. С. ШИШИКИН, Д. Н. ОРЕШКОВ, Е. С. УГЛОВА

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru*

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты многолетних исследований состояния животного населения в зоне воздействия выбросов Норильского промышленного комплекса (НПК). Изучены естественные факторы численности животных, их воздействие на видовой состав и популяционные характеристики. Проведен сопряженный анализ состояния растительности и параметров животного населения, что позволило разработать критерии и выполнить зонирование воздействия загрязнителей на различные экосистемы. Определен список тестовых видов для мониторинга и проведена оценка загрязнения тканей наземных позвоночных.

Ключевые слова: НПК, видовой состав, плотность населения, динамика численности, загрязнение тканей тяжелыми металлами и серой.

Актуальность современных исследований техногенных территорий состоит в получении информации, необходимой для оценки и прогнозирования последствий хозяйственной деятельности человека, а также возможности разработки реабилитационных мероприятий. Северные широты служат ключевыми территориями для размножения перелетных птиц, и промысловые ресурсы являются основным источником проживания коренного населения, поэтому организация и мониторинг состояния населения животных – приоритетная задача. Методологически изучение реакции наземных позвоночных на изменения среды проводится на нескольких уровнях биологической организации: отдельная особь, репродуктивная группа (семья), локальная популяция, биоценоз, экосистема. Для каждого из этих уровней организации живых систем предлагаются свои критерии оценки воздействия. Морфологическая изменчивость тела и органов, а также загрязнение организма техногенными продук-

тами оцениваются индивидуально. Репродуктивные способности и плодовитость отслеживаются на уровне анализа семейных групп. Половозрастной состав и динамика численности локальных популяций, населяющих нарушенную среду и адаптирующихся к ней, оцениваются в совокупности с состоянием кормовых, защитных и гнездопригодных условий техногенных биотопов. Биотические факторы (хищничество, конкуренция и др.) исследуются по видовому разнообразию и пирамидам биомассы. Сукцессионные и пространственные процессы, обусловленные динамикой абиотических факторов, структурой ландшафта и особенностями воздействия, изучаются на уровне экосистемы. Системность подобных исследований позволяет выявить особенности функционирования животного населения в условиях техногенного ландшафта, оценить продуктивность последнего, классифицировать и моделировать состояние местообитаний.

Цель исследования – изучить особенности зоологических комплексов млекопитающих в зонах с различной интенсивностью воздействия поллютантов Норильского промышленного района (НПК).

Для реализации поставленной цели выявлялись фоновые и техногенные средообразующие факторы, определяющие видовое разнообразие и плотность населения животных, а также сезонная и многолетняя динамика их численности. Определен список индикаторных видов животных из различных систематических таксонов и экологических групп (растительоядные, насекомоядные, хищные, оседлые, мигранты). Проведена количественная оценка загрязнения тяжелыми металлами и серой тканей животных, а также изучались морфофизиологические изменения организмов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводятся с 2001 г. по настоящее время с перерывами в 2002 и 2005–2007 гг. В процессе анализа космического изображения ландшафтов, окружающих НПК, и их обследования по геоморфологическим профилям разработана генетическая классификация техногенных местообитаний животных [Шишкин и др., 2014]. В ее основе два типа ландшафтов (равнинный и горный), а также геоморфологическая приуроченность биоценозов. Зоологические исследования в составе комплексных экспедиций проводились на 19 геоморфологических профилях (всего 34), в том числе на восьми из них многолетние.

Часть мониторинговых участков имеют только вертолетную доступность, поэтому в последние годы исследования на них не проводились.

Состояние животного населения оценивалось по видовому составу, численности, продуктивности, морфологическим изменениям, популяционным показателям (динамика численности, половозрастная структура), а также накоплению тяжелых металлов (Co, Ni, Cu, Pb, Cr, Mn) и серы в тканях животных.

В работе использовались стандартные методы учетов численности, обработки биоматериала и результатов. Учет крупных мле-

копитающих и птиц производился маршрутным методом по снегу, обычно в конце апреля и летом; учеты мелких млекопитающих – отловами на постоянных участках во второй половине августа. Основные отловы мелких млекопитающих проводились конусами и ловушками Геро на комплексных пробных площадях, расположенных по геоморфологическим профилям. Маршрутные учеты птиц [Равкин, 2002] охватывали весь геоморфологический профиль с перпендикулярными заходами в пересекаемые биотопы. Отдельно картировались и регулярно обследовались гнезда зимняка (*Buteo lagopus* Pontorpidan, 1763) как основного модельного вида хищных птиц.

Показателем для оценки и сравнения видового разнообразия выбран индекс Шеннона как более чувствительный к участию в составе редких видов.

В список тестовых видов вошли представители различных трофических уровней, занимающие разные экологические ниши, но встречающиеся на всех участках наблюдений. Структура биотопов в горном и равнинном ландшафтах, лесотундре и тундре, а также зонах различного воздействия выбросов существенно различается, поэтому тестовым биотопом выбран долинный комплекс речек. Для взятия образцов на содержание металлов у перелетных птиц использовались молодые особи выводков текущего года. Ткани оседлых видов животных брались по половозрастным группам. Приведем список тестовых видов, наиболее распространенных в южной лесотундровой части зоны воздействия НПК. Птицы: зимняк (*Buteo lagopus* Pontor., 1763), белая куропатка (*Lagopus lagopus*), дрозды (*Turdus* sp.), варакушка (*Luscinia svecica* Linnaeus, 1758), овсянка-крошка (*Emberiza pusilla* Pallas, 1776). Млекопитающие: бурозубки (*Sorex* sp.), заяц-беляк (*Lepus timidus* Linnaeus, 1758), полевки лесные (*Clethrionomys Tilesius*, 1850), полевки серые (*Microtus* Schrank, 1798), горностаи (*Mustela erminea* Linnaeus, 1758).

За весь период наблюдений отловлено 1321 экземпляр представителей семейства землеройковых (Soricidae) и подсемейства полеvoчьих (Arvicolinae). В табл. 1 показан объем материала по мелким млекопитающим, по ключевым участкам и годам наблюдений.

Численность отловленных мелких млекопитающих на ключевых участках

Участок	Год							
	2001	2003	2004	2008	2009	2010	2011	2012
Далдыкан***					0	14,7	0,5	4,0
Ергалах 1***		5,3	5,3	14,7	2,7	0	0	9,3
Оганер***				10,7	0	0	0	8,0
Ергалах 2**			1,3					
Орон**	31,3		19,3	17,3	26,7			6,0
Орон 2**					28,0			
Изба**		38,7	40,0	73,3	54,7			
Амбарная*					0	10,7	2,3	13,3
Тукуланда*	38,3			108,0				
Боганида					8,0	13,3	2,3	70,7
Ирбэ	43,3			106,7				
Талнах				38,7	10,7			
Ергалах 3					20,0			
Горбиачин	21,8							
Дудинка					16,0			
Светлый							1,3	

П р и м е ч а н и е. *** Участки, расположенные в зоне очень сильного воздействия, ** сильного, * умеренного, остальные – слабого.

Объем выполненных полевых работ позволяет получить достоверные результаты, необходимые для размещения мониторинговых участков, оценки населения позвоночных животных, их биотопического распределения, подбора тестовых видов, морфологии тела и органов, репрезентативного отбора тканей на загрязнение поллютантами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав в зонах с различной степенью нарушений изменяется незначительно и напрямую зависит от распространения биотопов, пригодных для обитания. Воздействие поллютантов является средообразующим фактором, через формирование новых и деградацию коренных сред обитания изменяется видовой состав населения.

Видовое богатство мелких млекопитающих плакорных участков на различном удалении от источника выбросов свидетельствует о сокращении числа видов от зоны умеренного воздействия (Тукуланда) к зонам очень сильной (Ергалах/Оганер) и сильной нарушенности (Орон) (рис. 1).

Наиболее устойчивое и разнообразное население – в долинном комплексе, это явилось одним из оснований выделить данный тип местообитаний как тестовый рефугий. Индекс разнообразия Шеннона выявил контрастность и значение долинного комплекса как станции переживания, расселения зверьков на территориях с очень сильным воздействием промышленных выбросов. В зоне уме-

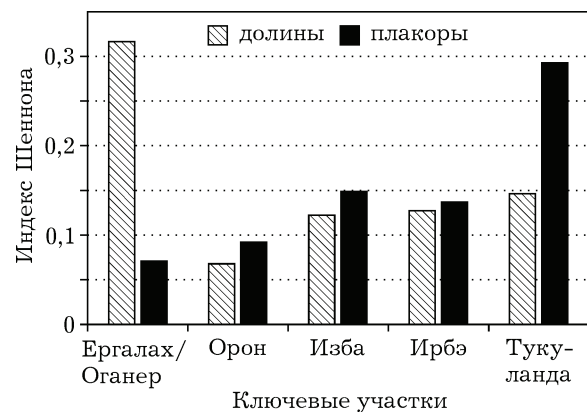


Рис. 1. Индекс разнообразия Шеннона по профилям и биотопам. Слева направо от наиболее загрязненных местообитаний к фоновым

Т а б л и ц а 2

Зоомасса охотничьих видов и хищных птиц по участкам наблюдений, г/га

Участок	З-б	ДСО	Лс	Гр	Сб	Лц	Пс	Бк	Зм	Дб
Пясино	32,5	500	–	0,8	–	+	28	17,2		
Горбачин	7,0	350	400	0,2	1,5	+	+	12,8	2,4	0,3
Кутарамакан	17,5	200	800	0,8	3,0	10	16	25,6	2,4	0,3
Тукуланда	21,0	50	+	0,2	3,0	10	8	14,4	3,0	0,2
Рыбная-Изба	16,0	50	+	0,6	–	10	16	15,2	3,0	0,3
Рыбная-Орон	8,0	50	–	0,2	–	20	16	13,6	4,8	0,3
Ергалах-1	32,0	30	–	0,3	–	20	24	6,4	3,0	0,2

П р и м е ч а н и е. З-б – заяц-беляк, ДСО – дикий северный олень, Лс – лось, Гр – горностаи, Сб – соболь, Лц – лисица, Пс – песец, Бк – белая куропатка, Зм – зимняк, Дб – дербник; (+) – редкие встречи.

ренного воздействия при смене доминатов растительности на плакорах со мхов и лишайников на травянистые растения наблюдается увеличение числа видов мелких млекопитающих. В благоприятные сезоны при подъемах численности видовое разнообразие мелких млекопитающих закономерно увеличивается, прежде всего, за счет бурозубок.

Для зонирования техногенного воздействия и определения ущерба важно выявить пороговые значения изменений продуктивности компонентов экосистемы. Для охотничьих видов и хищных птиц на разном удалении от НПЖ определялась их зоомасса в расчете на один гектар собственных местообитаний (табл. 2).

По мере приближения к источнику выбросов наблюдается рост зоомассы растительных видов и хищных птиц, питающихся мелкими млекопитающими (дербник *Falco columbarius* L., 1758) и белыми куропатками (зимняк). Это объясняется сменой мохово-лишайникового покрова на злаки и бобовые, которые обладают большей вегетативной и семенной кормовой ценностью.

Структура биомассы мелких млекопитающих существенно меняется по сезонам и био-

топам (табл. 3). В зоне сильного воздействия (Орон) биомасса серых полевков в долинах сохраняется стабильной, несмотря на очень высокую численность бурозубок в 2001 г. и отсутствие их в 2004 г.

На плакорных местообитаниях лесные полевки сохраняют плотность даже в период депрессии и значительно повышают ее после общего спада численности мелких млекопитающих. Это подтверждает, что динамику численности мелких млекопитающих определяют плакорные местообитания, а долинные комплексы служат ландшафтным каркасом стабильности населения животных и стадиями переживания неблагоприятных условий.

Комплексные исследования позволили выявить прямую зависимость ($r = 0,6$) между развитием травостоя, растительными и насекомоядными млекопитающими, а также массой беспозвоночных.

Численность. Многими исследователями отмечается, что особенности климатических условий Крайнего Севера определяют видовой состав животных, ландшафтное распределение и плотность населения, интенсивность их размножения, наличие и доступ-

Т а б л и ц а 3

Структура биомассы полевков и бурозубок по сезонам и биотопам в зоне сильного воздействия, г/га

Биотоп	2001 г.		2003 г.	2004 г.	
	полевки	бурозубки	полевки	полевки	бурозубки
Долины	1201,5	83,3	596,1	1384,2	0
Плакоры	133,5	0	169,1	708,9	4,3
Всего	1335,1	83,3	765,2	2093,1	4,3

ность кормов [Данилов, 1977; Чернов, 1978; Кокорев, 1989]. Популяционные и межвидовые отношения, такие как пространственная структура и плотность популяций, цикличность размножения, конкуренция, хищничество и др., видоспецифичны и имеют большое значение в динамике численности [Кошкина, 1974; Кривошеев, 1981].

Ведущую роль в формировании и, прежде всего, динамике зооценозов северных широт имеют погодные условия, оказывающие прямое воздействие на выживаемость животных. Непродолжительное лето определяет короткий период размножения мелких животных и птиц, численность которых напрямую обуславливает накопление вещества для передачи (или необходимого для перехода) по трофической цепи.

Благодаря исследованиям НИИСХа, наиболее длинный ряд наблюдений имеется для песца (*Alopex lagopus* Linnaeus, 1758), который является тестовым видом млекопитающих тундры [Куксов, 1975; Боржонов и др., 1977]. Проведена оценка зависимости длительного ряда наблюдений норения и заготовок с температурой и осадками по пятидневкам с 1987 г. Положительная корреляция (r) между этими показателями наблюдается дважды –

в конце мая – середине июня и сентябре. В период с 1959 по 1975 г. наблюдалась еще более тесная связь между температурой ($r = 0,61$) и осадками ($r = 0,59$) июня.

Типичный сценарий неблагоприятного года в тундровой зоне с проявлением абиотических и биотических факторов наблюдался в 2003 г. Продолжительная оттепель на Западном Таймыре во второй-третьей декадах мая сопровождалась проливными дождями. Последовавшие затем морозы превратили мокрый снег в толстую корку льда, которая ограничила подвижность мелких млекопитающих и питание, усугубив влияние отрицательных температур (рис. 2). В результате наступила депрессия численности зверьков, несмотря на большое количество зимних гнезд, указывающих на подснежное размножение. Сходная картина в последние десятилетия наблюдается на севере Европы, где изменения климата повлекли за собой уменьшение пиков численности грызунов [Kausrud et al., 2008.].

В тундровой зоне мелкие млекопитающие образуют основную трофическую консорту. Зоомасса мелких млекопитающих может достигать 6–8 кг/га, что формирует и поддерживает численность хищников. При отсутствии основного корма они переключаются на

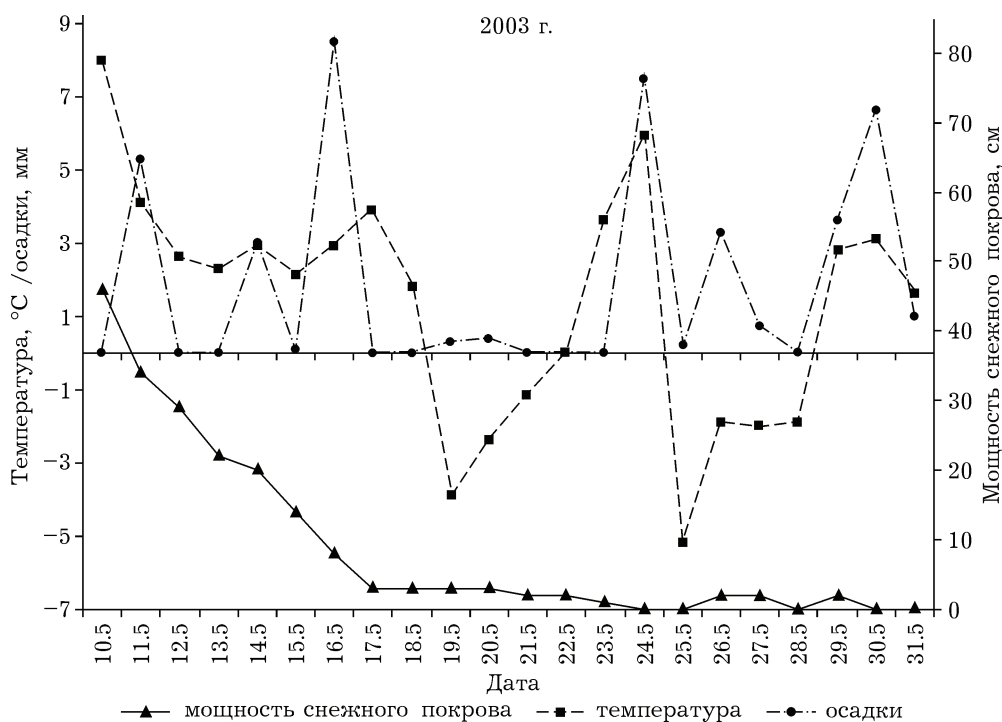


Рис. 2. Неблагоприятные погодные условия, май 2003 г.

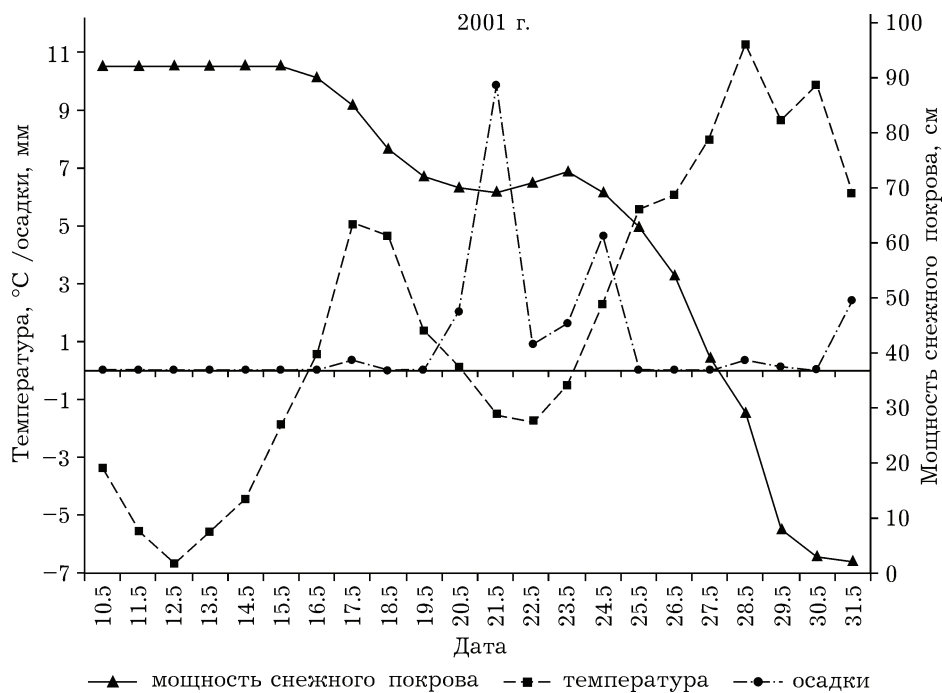


Рис. 3. Благоприятные погодные условия, май 2001 г.

второстепенный, обычно яйца и птенцов, в этом случае гибель птиц возрастает в 5–8 раз, достигая половины потенциального прироста [Жокорев, 1989]. В результате наложения двух неблагоприятных факторов – погодных условий и хищничества – резко сокращается эффективность размножения перелетных птиц.

В период депрессии мышевидных грызунов особенно катастрофически снижается численность типичного миофага зимняка, независимо от того, присутствует техногенная нагрузка на территорию или нет. В благоприятный сезон (2001 г.) размножения мелких млекопитающих и белой куропатки в зоне сильного техногенного воздействия расстояние между гнездами зимняка составляло 2–3 км, а количество птенцов в них часто достигало четырех. В 2003 г. по всей зоне промышленного воздействия и на фоновых участках учтено не более 5 % занятых гнезд с 1–2 птенцами, наблюдался массовый каннибализм между птенцами хищника. Одновременно зимой 2003–2004 гг. отмечено резкое снижение численности зимняка на зимовках в Туве, сохраняющееся на низком уровне до настоящего времени. В 2011 г. повторилась погодная ситуация 2003 г., когда по результатам отловов на шести мониторинговых

участках численность мелких млекопитающих была крайне низкой. Все наблюдаемые гнезда зимняка были разрушены или не заселены, а встречи взрослых птиц за 12-дневные полевые работы отмечались только дважды.

Примером благоприятного погодного сценария весеннего периода может служить май 2001 г. с устойчивыми положительными температурами, сопровождающими сход снежного покрова, и малым количеством осадков (рис. 3).

По результатам исследований выделено пять сценариев погодных условий, влияющих на успешность сезона размножения. Неблагоприятные сезоны: ранняя весна с возвратом холодов и образованием ледяной корки при отсутствующем или маломощном слое рыхлого снега; холодные и дождливые весна и лето; короткое лето. Благоприятные сезоны для сохранения взрослых и их размножения: дружная (как правило, поздняя) теплая весна без осадков и возвратов холодов; продолжительное теплое лето (дополнительный помет и высокая сохранность молодняка).

При этом наблюдается избирательность воздействия погодных условий в связи с ландшафтными особенностями подснежного распределения млекопитающих. Относительно большая сохранность перезимовавших зверьков при неблагоприятных весенних сценари-

Распределение зоомассы мелких млекопитающих (г/га) и фитомассы (г/м²) в лиственничниках на разном удалении от НПР, 2003 г.

Экологическая группа млекопитающих			Запас ЖНП	
насекомоядные	растительноядные	всего	мхи, лишайники	травянистые
Горбиачин (202 км)				
140,0/163,2*	0/2644,4*	140,0/2807,6*	711,0/241,4	88,4/190,2
Тукаланда (101 км)				
182,8	2039,2	3216,0	133,8	152,6
Орон (37 км)				
109,6	782,4	892,0	88,0	200,1

ях отмечена у полевки-экономки, вида, обитающего в пределах области исследований в долинах врезанных русел мелких водотоков, где мощность снежного покрова превышает два метра, и он не промокает от дождей до земли.

По мере приближения к источнику выбросов наблюдается рост биомассы растительноядных видов и, соответственно, хищных птиц (табл. 4). Увеличение происходит в основном за счет полевки и зайца-беляка, чему есть простое объяснение. В результате выбросов отмирает естественный для данной природной зоны мохово-лишайниковый покров и разрастаются корневищные злаки, обладающие большей кормовой ценностью.

Используя многолетние ряды наблюдений НИИСХа, на примере системы хищник (песец) – жертва (лемминг) выделяется трехлетний цикл динамики, два плохих и один хороший сезон размножения [Куксов, 1975; Боржонов и др., 1977]. Прослеживается большая роль внутрипопуляционных механизмов регулирования численности мелких млекопитающих. По нашим данным, за последние 11 лет в подзоне лесотундры наблюдается изменение погодной цикличности и доминирование этого фактора в формировании динамики численности населения животных северных широт, в первую очередь мелких млекопитающих.

После депрессии численности в 2011 г. происходило быстрое восстановление численности мышевидных грызунов. В конце сезона размножения 2012 г. практически не наблюдалось ожидаемого эффекта запаздывания, и эта группа позвоночных полностью

реализовала благоприятные условия вегетационного сезона, достигнув максимальной численности.

Большие амплитуды колебаний численности аборигенных и перелетных видов животных северных широт являются адаптивной стратегией, которая определяется группой мышевидных. Бурозубки, несмотря на высокий темп размножения, также не могут быстро реагировать на изменения условий обитания. За период исследований только в 2001 г. бурозубки имели высокую, как у полевки, численность, в остальные годы они отсутствовали в отловах или встречались редко.

В зонах с различной степенью повреждения выбросами НПК по суммарным показателям отловов в биотопах наблюдается разная динамика численности (рис. 4). В благо-

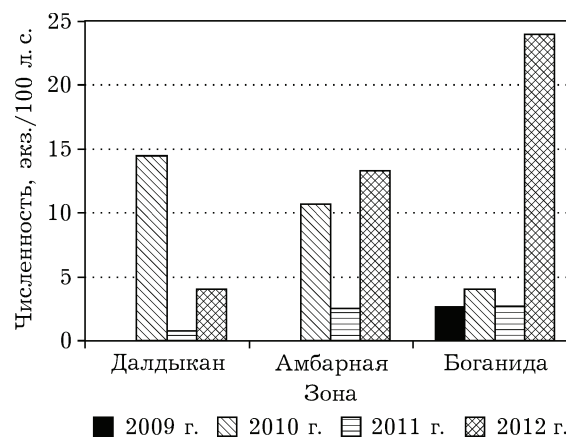


Рис. 4. Динамика численности мелких млекопитающих в различных зонах повреждения выбросами. Слева направо от наиболее загрязненных местообитаний к фоновым

приятные для размножения годы численность зверьков возрастает от зоны очень сильного воздействия (Далдыкан), к зоне умеренного (Амбарная) до слабого (Боганида). В межпиковые годы наблюдается обратная закономерность, а депрессия (2011 г.) больше проявляется в зонах сильного воздействия.

Таким образом, ландшафтная структура местообитаний, анализ параметров и сроков погодных условий позволяет с высокой вероятностью прогнозировать численность основных представителей позвоночных различных трофических и биотопических групп лесотундры. В техногенных биотопах наблюдается большой перепад численности зверьков, асинхронный фоновым местообитаниям, обусловленный более значительным влиянием климатических факторов.

Традиционно показателями техногенного воздействия служат морфологические индикаторы: промеры тела, вес органов и длина отделов кишечника. По данным Н. В. Башениной [1977], увеличение почек и печени происходит в результате загрязнения окружающей среды, поскольку оба органа выполняют в организме очищающие функции. По нашим данным, по мере приближения к источнику выбросов наблюдается незначительное увеличение индекса почек у самок, а у самцов отмечается обратная зависимость. Половые различия в весе печени и почек могут быть связаны не с уровнем загрязнения, а с разным физиологическим состоянием в период размножения. Известно, что в период выкармливания у самок вес печени увеличивается [Шварц и др., 1968].

Отмечены возрастные изменения сердца и печени, их индекс повышается у взрослых особей, что противоречит правилам адаптации – с возрастом в естественных условиях организм приобретает большую стабильность. По нашим данным, известная закономерность снижения индексов сердца и печени с возрастом справедлива лишь для экономки и только на фоновом участке. Увеличение этих органов в зоне воздействия НПК свидетельствует о повышении подвижности и интенсивности энергообмена, возможно, нарастает очищающая нагрузка на печень по мере приближения к источнику выбросов.

На участках, подверженных техногенному воздействию, индекс печени с возрастом

увеличивается, что, вероятнее всего, связано с загрязнением организма. Медь, один из поллютантов НПР, оказывает гепатотоксическое действие, отравление приводит к атрофическому циррозу, изменениям в тканях печени [Ершов, Плетнева, 1989]. В зоне сильного загрязнения индекс сердца увеличивается относительно фона, что свидетельствует об увеличении двигательной активности. Она может быть обусловлена поиском корма или учащенным сердцебиением, вызванным дискомфортом, связанным с запахом SO₂ или воздействием свинца, вызывающим изменения миокарда [Ершов, Плетнева, 1989]. Для молодых особей вначале характерны примерно одинаковые показатели индексов, затем эти показатели дифференцируются по зонам поражения и биотопам.

Наиболее чувствительным к изменению трофических условий является пищеварительный тракт, особенно у растительноядных позвоночных. Общая протяженность кишечника и его отделов может выступать как биоиндикатор условий питания. Известно, что каждый из отделов выполняет свои функции в пищеварении и можно предполагать, что в зависимости от рациона будет изменяться структура пищеварительной системы. Модельными видами для этого теста выбраны лесные и серые полевки. Сравнение данных между видами, сезонами и зонами повреждения показало различную изменчивость отделов при вариации по выборкам не выше 11 %. Как и ожидалось, наиболее четко разделяются особенности строения кишечника по видам и географическому положению. За фон приняты выборки лесных полевков с Енисейского кряжа (р. Ведуга). Реакция на степень удаленности от источника выбросов проявилась увеличением толстого отдела желудочно-кишечного тракта [Орешков, 2005]. Полученные результаты использования пищеварительного тракта в качестве биотеста требуют дальнейшей апробации.

Согласно рекомендациям по оценке загрязнения среды В. М. Захарова [Методические рекомендации..., 2003], у живых организмов, подверженных техногенной нагрузке, наблюдаются изменения в онтогенетическом развитии, проявляющиеся в асимметрии строения организма. У полевков это оценивается по асимметрии фенос черепов. Про-

веденный нами анализ не выявил различий в степени асимметрии между популяциями с нарушенными и ненарушенными территориями.

Прямым показателем внешнего воздействия на организм животных служит гистологический анализ тканей органов [Екимов и др., 2012]. На примере варибельности состояния печени и селезенки природных популяций лесных и серых полевков показаны возможные патологические изменения, спровоцированные токсической нагрузкой. Это наиболее перспективный путь оценки прямого воздействия поллютантов на физиологические процессы позвоночных.

Содержание тяжелых металлов и серы в тканях животных. Вопросу накопления загрязняющих веществ в тканях животных уделялось достаточно внимания, и здесь можно выделить общие принципы. Известно, что вещества, поступающие в организм с пищей, накапливаются пропорционально их содержанию, изменчивость составляет 11–17 % [Покаржевский, 1985]. Барьерную функцию, препятствуя отравлению организма, выполняют стенки желудочно-кишечного тракта, задерживая токсические элементы до определенных пределов. При увеличении концентрации токсинов физиологически необходимые элементы пропускаются транзитом вместе с токсичными, в некоторых случаях защиты от токсинов не существует, и они свободно поступают в организм [Домарадский и др., 2002]. Выводятся элементы в течение 20–25 дней. Химические элементы поступают в организм в соответствии с его генотипом, биофильностью (отношение элемента в организме к содержанию в литосфере) и физиологическими функциями органов, накапливаясь в скелете, мышцах, печени, жирах, шерсти, кожном покрове и др. [Покаржевский, 1985; Мухачева, Безель, 1995; Общая токсикология, 2002]. В зависимости от концентрации загрязняющих веществ изменяется и их накопление в организмах разных видов. Кроме алиментарного пути поступления токсических элементов в организм, на территории НПП при высокой пылевой нагрузке в радиусе 30 км от источников выбросов есть высокая вероятность их поступления через кожные покровы и органы дыхания. Это накладывает на особенности северных территорий, а

именно, высокий рудный фон, влияющий на химический состав кормов.

Содержание металлов в организме животных зависит от характера питания, у зеленоядных загрязнение больше, чем у зерноядных видов [Безель, Мухачева, 2012]. Еще большее накопление микроэлементов наблюдается у консументов второго порядка (бурозубки, хищники). У организмов данной группы отсутствует барьер, отвечающий за транспорт тяжелых металлов в желудочно-кишечном тракте. Накопление элементов связано с продолжительностью жизни и интенсивностью энергообмена, что может привести к омолаживанию популяции и элиминации долгоживущих видов из биоценоза [Общая токсикология, 2002]. Снижение видовой разнообразия, в свою очередь, приводит к резким колебаниям численности видов и снижению общей продуктивности системы [Литвинов, 1995]. Наследственные адаптивные реакции могут быть неэффективны к техногенному воздействию и способствовать формированию новых приспособлений.

В тканях животных, отловленных в зоне максимального выпадения поллютантов, наиболее близкими по загрязнению химическими элементами оказались полевки и бурозубки, а наибольшее расхождение отмечено между полевками и зайцем-беляком (рис. 5).

Возрастная изменчивость содержания микроэлементов в тканях животных исследовалась на примере полевков. Свинец в мышечной ткани накапливается в равных долях вне зависимости от возраста зверька (рис. 6). Содержание остальных элементов высокое у молодняка и снижается с возрастом. Различия в накоплении тяжелых металлов обусловлены разным рационом питания взрослых и молодых полевков, высокой интенсивностью обмена у ювенильных животных и различиями в строении пищеварительного тракта (доли толстого, слепого и прямого отделов выше у последних). В этом случае металлы могут выступать как маркеры биохимических процессов в организме.

Основной путь попадания загрязняющих веществ НПК трофический, поэтому изменение биохимии корма и рациона питания приводит к видовой дифференциации накопления металлов. Для хищников и зерноядных

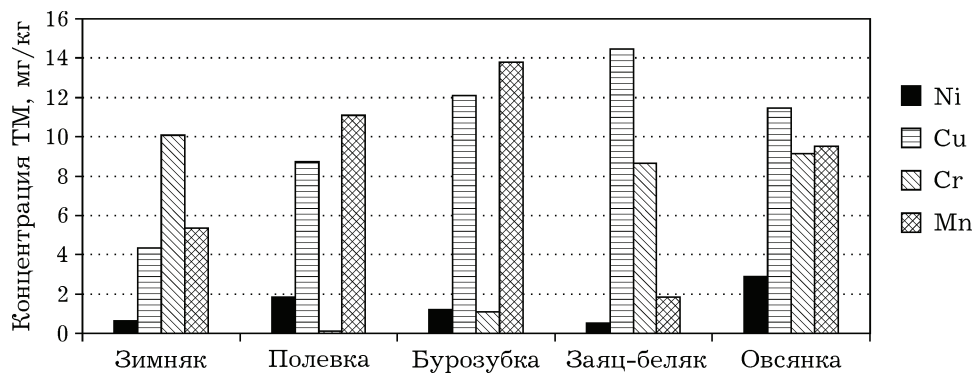


Рис. 5. Содержание металлов в тканях различных видов позвоночных

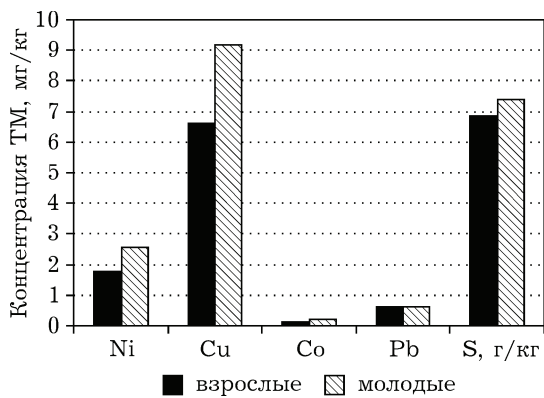


Рис. 6. Содержание металлов в тканях взрослых и молодых полевок

(овсянка) характерно по мере приближения к источнику выбросов нарастание концентрации металлов в тканях, что связано с их накоплением по трофическим уровням (рис. 7). Обратная зависимость наблюдается у зайца-беляка, что явно зависит от изменения его рациона: чем ближе к источнику загрязне-

ния, тем больше потребляется травянистого корма и ив. В этих растениях содержится меньшая концентрация тяжелых металлов и серы, поскольку произрастают они в промываемых элементах ландшафта, относительно ерника или ольховника, произрастающих вне долин и служащих основным зимним кормом на фоновых участках. Полевка-экономка занимает узкую экологическую нишу долин по всем зонам поражения с однотипным питанием травянистыми растениями (злаки, осоки). Поэтому для нее характерно возрастание содержания металлов от фона до зоны сильного поражения (30–80 км) и снижается с приближением к источнику выбросов. Такой тренд хорошо коррелирует с распределением пылевой нагрузки в снежном покрове, максимальной на удалении 30 км. Бурозубки, обладающие интенсивным энергообменом, эвритопностью, широким спектром кормов и непродолжительным сроком жизни, нивелируют картину техногенного воз-

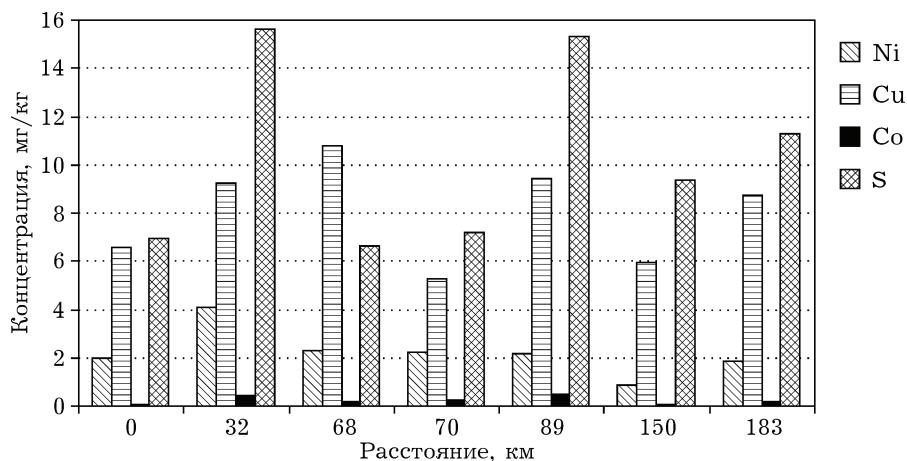


Рис. 7. Содержание металлов и серы в тканях полевок в зависимости от удаленности НПП (2003 г.)

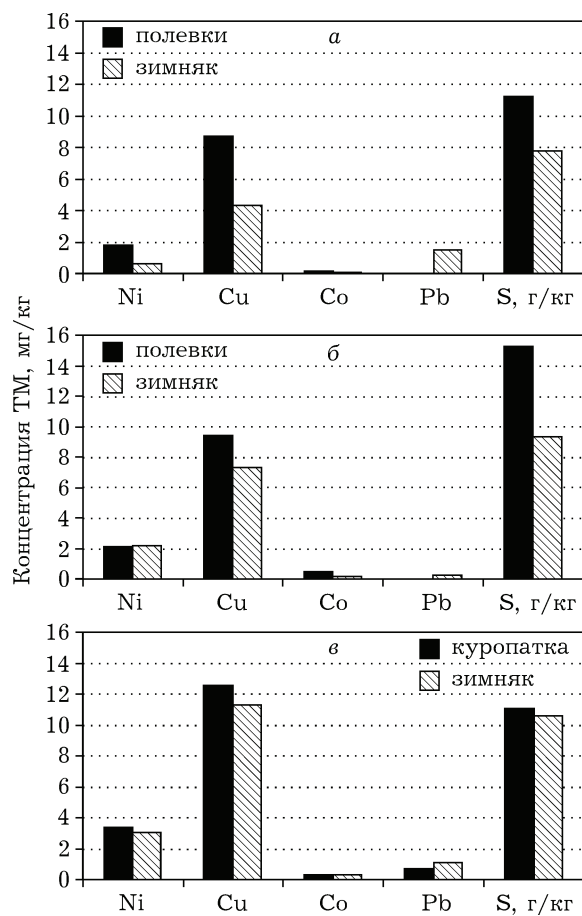


Рис. 8. Концентрация металлов (мг/кг) и серы (гр/кг) в тканях зимняка и его жертв: а – фоновый участок (Горбиачин); б – зона умеренного воздействия (Тукаланда), в – сильного (Рыбная – Орон)

действия выбросов, и концентрация металлов в их тканях остается почти неизменной.

Для выявления миграции загрязнителей по трофическим цепям “хищник – жертва” проведен сопряженный анализ накопления металлов в тканях. На примере зимняка установлено, что содержание металлов в хищнике и его жертвах возрастает параллельно от условно фонового участка “Горбиачин” к умеренному воздействию (Тукаланда) и сильному (Рыбная) (рис. 8). По мере повышения концентрации выбросов зависимость содержания металлов у зимняка и видов, служащих кормом, становится более тесной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Численность населения позвоночных лесотундры в большей степени определяется абиотическими факторами и в меньшей степени

биоценотическими отношениями, что определяет низкое видовое разнообразие и простую трофическую сеть биоценозов. Выпадение поллютантов изменяет характер растительности и условия обитания животных, но плотность населения и динамику их численности определяют катастрофические погодные явления, усугубляющиеся трансформированными условиями обитания. Наблюдаются несинхронные изменения населения мелких млекопитающих по зонам воздействия, что может служить дополнительным биоиндикатором условий функционирования популяций.

В зонах умеренного воздействия НПЗ увеличивается видовое разнообразие и плотность населения позвоночных. Изменения вызваны сменой доминирующей мохово-лишайниковой растительности на травянистую в результате образования техногенной ландшафтной мозаики. При очень сильном воздействии (зона техногенной пустоши), угнетении растительности и аэрогенного воздействия выбросов отмечаются только мигрирующие животные.

Морфофизиологические особенности мелких млекопитающих, обитающих в техногенных биотопах, проявляются в увеличении индекса сердца, печени и структуры пищеварительного тракта. Воздействие на эти и другие органы целесообразно оценивать по изменению их тканей гистологическими методами.

Результаты анализа загрязнения тканей позвоночных проявились в выраженной видовой и пространственной дифференциации накопления загрязнителей. В связи с этими критериями для зонирования следует использовать состояние фитоценозов, определяющих спектр кормов и концентрацию загрязнителей в них, а также структуру трофических цепей в зооценозах.

ЛИТЕРАТУРА

- Башенина Н. В. Пути адаптации мышевидных грызунов. М.: Наука, 1977. 355 с.
- Безель В. С., Мухачева С. В. Трофические уровни мелких млекопитающих. Мультиэлементный состав и токсическая нагрузка // Поволжск. экол. журн. № 1. 2012. С. 3–13.
- Боржонов Б. Б., Булавкин В. И., Павлов Б. М., Завацкий Б. П., Зырянов В. А., Карелов А. М., Киселев В. А., Куксов В. А., Росляков А. П., Савельев В. Д., Якушкин Г. Д. Охотничье хозяйство Енисейского Севера. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1977. 223 с.

- Данилов Н. Н. Роль животных в биогеоценозах субарктики // Биоценотическая роль животных в лесотундре Ямала. УНЦ АН СССР. Свердловск, 1977. С. 3–30.
- Домарадский И. В., Хохоев Т. Х., Кондракова О. А., Дубинин А. В., Вострухов С. В., Бабин В. Н. Противоречивая микроэкология // Рос. хим. журн. 2002. Т. XLVI, № 3. С. 80 – 89.
- Екимов Е. В., Борисов А. Н., Шишкин А. С. Диапазон variability и “границы нормы” относительной массы селезенки мелких млекопитающих из природных популяций // Экология. 2012. № 3. С. 229–235.
- Ершов Ю. А., Плетнева Т. В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989. 142 с.
- Кокорев Я. И. Организация населения птиц в типичных тундрах Западного Таймыра: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1989. 22 с.
- Кошкина Т. В. Популяционная регуляция численности у грызунов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск, 1974. 60 с.
- Кривошеев В. Г. Факторы регуляции численности мышевидных грызунов и хищных млекопитающих тайги Колымской низменности // Экология млекопитающих Северо-Восточной Сибири. М.: Наука, 1981. С. 61–82.
- Куксов В. А. Популяционная экология и теоретические основы прогноза численности мелких грызунов Таймыра: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1975. 25 с.
- Литвинов В. Н. Видовое разнообразие и элементы организации сообществ мелких млекопитающих севера Средней Сибири // Экология. 1995. № 5. С. 385–389. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) // Распоряжение Росэкологии. М., 2003. 24 с.
- Мухачева С. В., Безель В. С. Уровни токсических элементов и функциональная структура популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения // Экология. 1995. № 3. С. 237–240.
- Общая токсикология / под ред. Б. А. Курляндского, В. А. Фролова. М.: Медицина, 2002. 608 с.
- Орешков Д. Н. Комплекс мелких млекопитающих как показатель нарушенности лесных экосистем Средней Сибири: дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2005. 132 с.
- Покаряевский А. Д. Геохимическая экология наземных позвоночных. М.: Наука, 1985. 300 с.
- Равкин Ю. С. Пространственно-типологическая организация животного населения Западно-Сибирской равнины (на примере птиц, мелких млекопитающих и земноводных) // Зоол. журн. 2002. Т. 81, № 9. С. 1166–1184.
- Чернов Ю. И. Структура животного населения Субарктики. М.: Наука, 1978. С. 1–166.
- Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринский Л. Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных // Тр. Ин-та биологии УФ АН СССР. Свердловск, 1968. Вып. 58. 395 с.
- Шишкин А. С., Абаимов А. П., Онучин А. А. Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальными техногенными условиями // Сиб. экол. журн. 2014. № 6. (здесь же).
- Kausrud K. L., Mysterud A., Steen H. et al. Linking climate change to lemming cycles // Nature. 2008. Vol. 456. P. 93–97.

Condition of the Fauna in the Impact Zone of the Norilsk Industrial Complex

A. S. SHISHIKIN, D. N. ORESHKOV, E. S. UGLOVA

*V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru*

The results of long-term studies of the fauna condition in the zone of impact of emissions from the Norilsk industrial complex were presented. Natural factors influencing the species structure and population characteristics were investigated. The analyses of vegetation state and animal population parameters were conducted. That allowed carrying out zoning of the pollutants' impact on different ecosystems. The list of indicator species for monitoring of pollution was determined, and contamination level of tissues of terrestrial vertebrates was estimated.

Key words: Norilsk industrial complex, key plots, species composition, abundance, population dynamics, tissues contamination by heavy metals and sulfur.