

На правах рукописи



МЕДВЕДЕВ
Николай Владимирович

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ПТИЦ И
МЛЕКОПИТАЮЩИХ КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩЕГО
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

03.00.08 Зоология

03.00.16 Экология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Петрозаводск 2004

На правах рукописи

МЕДВЕДЕВ
Николай Владимирович

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ПТИЦ
И МЛЕКОПИТАЮЩИХ КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩЕГО
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

03.00.08 - Зоология
03.00.16-Экология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Петрозаводск - 2004

Работа выполнена в Институте леса Карельского научного центра
Российской Академии Наук

Научный консультант: доктор биологических наук,
чл.-кор. РАН, профессор
Ивантер Эрнест Викторович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Немова Нина Николаевна

доктор биологических наук, профессор
Иешко Евгений Павлович

доктор биологических наук
Баскин Леонид Миронович

Ведущая организация: Институт экологии растений и животных УрО РАН

Защита состоится 22 сентября 2004 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.190.01 при Петрозаводском государственном университете по адресу: 185640, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, эколого-биологический факультет, ауд. 326 теоретического корпуса

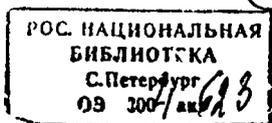
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Петрозаводского государственного университета

Автореферат разослан «19 » августа 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Узенбаев С.Д.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В условиях глобального и перманентного загрязнения биосферы особую актуальность приобретает проблема изучения возможности существования организма в субтоксичных условиях среды и поиски порога, за которым изменения биосистем приобретают необратимый характер. В течение своего эволюционного развития организм теплокровных животных приобрел целый комплекс компенсаторных реакций, позволяющих ему поддерживать гомеостаз в условиях постоянного воздействия неблагоприятных факторов внешней среды. Среди таких факторов в последние десятилетия одним из доминирующих выступает техногенное загрязнение природных комплексов. Этот фактор является новым для организма птиц и млекопитающих, тем не менее, выработанные в течение эволюции механизмы поддержания гомеостаза позволяют организму как сложной саморегулирующейся и устойчивой биосистеме нивелировать стрессовое воздействие возмущающих факторов в субтоксичных условиях среды.

В настоящее время под токсикантами применительно к природной среде понимают такие вредные вещества, которые распространяются в биосфере далеко за пределы своего первоначального местонахождения и в связи с этим оказывают явное или скрытое воздействие на животных или растения, а в ряде случаев и на человека. Это могут быть природные ядовитые вещества, например те, что рассеиваются в биосфере в результате выделения газов вулканами (в частности, при извержениях), однако подлинные токсиканты - это, как правило, те ядовитые вещества, которые сам человек неосмотрительно включает в круговорот природы (Эйхлер, 1985).

Из огромного разнообразия токсичных веществ, поступающих в биосферу в результате человеческой деятельности, Д.А. Кривошугин (1990) выделяет так называемую «грязную дюжину» экотоксикантов. Это тяжелые металлы и их соединения, пестициды, полихлорбифенилы, радионуклиды, нефть и ее производные, поверхностно активные вещества. В отдельную группу выделяются дибензо-пара-диоксины и дибензофураны - «супер-экоксиканты», токсичное действие которых может проявиться уже при концентрациях, выраженных не в мкг/кг или мкг/л (то есть ppm - часть на миллион), а в мкг/кг (ppb - часть на миллиард).

Масштабы воздействия человека на природу приобрели глобальный характер, они охватили всю биосферу Земли и затронули космическое пространство. Все это привело к широкому распространению токсикантов в биосфере и, как следствие, к масштабному антропогенному загрязнению, которое В.С.Безель (1994) определяет как неблагоприятную модификацию естественной природной среды, имеющую своим следствием изменение сложившихся распределений потоков энергии, вещества, радиационного фона и проявляющуюся в изменении состояния экосистем. Изучать проблемы, связанные с техногенным загрязнением природной среды и разрабатывать рекомендации по допустимому антропогенному воздействию на природные комплексы призвано новое самостоятельное направление экологии — экологическая токсикология или экотоксикология. Этот термин был введен в 1969 г., когда при Международном научном комитете по проблемам окружающей среды (СКОПЕ) была организована специальная Рабочая комиссия по экологической токсикологии. Экотоксикология (Садыков, 1988) исследует токсические эффекты химических и физических агентов на свободно живущие организмы, особенно на популяции и сообщества, входящие в определенные экосистемы, что предполагает изучение путей переноса этих агентов и их взаимодействие с природной средой.

Первое направление экотоксикологии включает изучение поведения токсикантов в природной среде, их дрейфа, аккумуляции, биоконцентрирования, трансформации, детоксикации и экскреции в различных биосистемах.

Второе направление анализирует реакцию биосистем на воздействие токсикантов с акцентом на оценку реакции популяций и сообществ. В связи с этим перед экотоксикологией стоят следующие задачи:

1 - количественные оценки близких и отдаленных во времени эффектов воздействия токсикантов,

2 - количественные оценки пространственно-временных градиентов поступления в природную среду токсических агентов и соответствующее зонирование территорий и акваторий в зависимости от степени экологического риска,

3 - разработка перечня наиболее уязвимых компонентов в биосистемах, подверженных токсическому воздействию,

4 - исследование экологических эффектов поступления в природную среду сложных смесей токсикантов и нормирование интегральной антропогенной нагрузки.

Существуют три активно разрабатываемых метода решения этих главных задач экотоксикологии:

- 1) полевые исследования конкретных территорий, подверженных действию техногенного загрязнения,
- 2) экспериментальное изучение механизмов токсического действия и
- 3) теоретические разработки концепций устойчивости природных систем.

Т. о., экотоксикологический анализ природных популяций птиц и млекопитающих можно определить как интегральную оценку токсических эффектов химических агентов на популяции свободно живущих организмов и изучение ответных реакций биосистем на воздействие токсикантов на организменном, популяционном и ценоотическом уровнях.

В географическом плане Карелия - это интересный регион, представляющий собой западный форпост лесов таежной подзоны с двумя крупнейшими озерами Европы - Ладожским и Онежским. Северо-восточная граница региона ограничена одним из арктических морей — Белым. По территории республики проходят миграционные трассы многих арктических птиц, а часть «таежных» видов наземных позвоночных распространена здесь на пределе ареала. Гетерогенная по своему составу фауна теплокровных животных Карелии насчитывает более трехсот видов, многие из которых служат объектами охоты.

Карелия принадлежит к индустриально развитым районам России, имеющим на своей территории несколько крупных источников техногенного загрязнения - Костомукшский горно-обогатительный комбинат, промузлы Сегежа-Надвоицы и Петрозаводск-Кондопога. На их долю приходится основной объем выбросов вредных веществ в атмосферу, а также промышленных стоков. Значительную роль в загрязнении природной среды играет автотранспорт.

Республика находится в окружении промышленно развитых регионов - Ленинградская, Архангельская, Мурманская области, Финляндия. Выбросы от промузлов этих регионов поступают и на территорию Карелии, негативно сказываясь на природной среде. Значительно участие в загрязнении воздушной среды трансграничного переноса поллютантов, попадающих не только от ближайших соседей, но и из стран Западной Европы.

Крупнейшие озера Европы - Ладожское и Онежское - испытывают существенное загрязнение промышленными, сельскохозяйственными и коммунальными стоками. Значительному загрязнению подвергается и Белое море, потенциальную угрозу которому представляют также и захоронения высокотоксичных веществ.

Цель и задачи исследования. Основная цель данного исследования - оценить направленность и силу влияния антропогенного загрязнения природной среды на популяции млекопитающих и птиц Карелии.

Согласно этому осуществлялось решение следующих задач:

1. Определение и анализ концентрации токсичных веществ в организме птиц и млекопитающих.
2. Анализ характера аккумуляции ксенобиотиков в организме животных.
3. Изучение межвидовых различий в степени загрязненности птиц и млекопитающих.
4. Анализ направления и силы влияния факторов пола и возраста на аккумуляцию токсикантов организмом теплокровных животных.
5. Оценка степени загрязненности и динамики уровня загрязнения наземных и водных экосистем при использовании млекопитающих и птиц в качестве индикаторов и мониторов химического загрязнения природной среды.

6. Изучение механизмов поддержания гомеостаза организмом птиц и млекопитающих в условиях техногенного загрязнения.
7. Оценка ответных популяционных реакций теплокровных животных на техногенное загрязнение.
8. Оценка степени опасности для человека при употреблении в пищу диких животных вследствие загрязнения их организма антропогенными поллютантами.

Научная новизна. Впервые для такого крупного таежного региона с очень разнообразными природными условиями, каковым является Карелия, было проведено комплексное изучение влияния различных видов антропогенного загрязнения природной среды на теплокровных животных. Причем набор изученных видов был весьма широк - от мелких до морских млекопитающих, от тетеревиных до чайковых птиц. При этом исследовались виды - обитатели наземных и водных (морских и пресноводных) экосистем. Обследовались виды как с коротким жизненным циклом (полевки), так и долгоживущие животные (лось, бурый медведь, кольчатая нерпа). Спектр изученных поллютантов был обширен и охватывал практически все приоритетные загрязнители природной среды от тяжелых металлов до хлорорганических соединений.

В качестве главных объектов исследований мы использовали охотничьи виды птиц и млекопитающих и представителей группы мелких млекопитающих. Обе эти большие группы животных дают возможность в короткие сроки собрать массовый материал для анализа. Помимо этого, мелкие млекопитающие - это традиционный и наиболее информативный объект биоиндикационных исследований, позволяющий успешно решать задачи не только первого, но, и особенно, второго направления экотоксикологии то есть изучать реакции биосистем на воздействие поллютантов на уровне популяций и сообществ (Безель, 1987). Большинство из исследованных видов животных являются консументами первого и второго порядков, занимают верхние уровни трофической пирамиды, что, наряду с достаточно большим сроком жизни, обуславливает накопление в их организмах токсикантов в количествах, способствующих более информативному анализу. Возможность выхода на гигиенический аспект проблемы — степень опасности для человека при употреблении им в пищу мяса диких животных — одно из неоспоримых преимуществ охотничьих зверей и птиц как индикаторов качества природной среды. Работы, проводимые автором ранее, давали ответы на конкретные вопросы о содержании тех или иных токсикантов в организмах отдельных видов или групп видов животных (Медведев, 1990; Медведев, 1993; Медведев, 1998а, 1998б, 1998в, 1998г; Медведев, 2001, Медведев, 2003а, 2003б; Medvedev, 1999; Medvedev, Markova, 1995; Medvedev et al., 1993; Medvedev et al., 1997). Эти работы, завершившиеся защитой кандидатской диссертации «Птицы и млекопитающие Карелии как индикаторы антропогенных загрязнений» и изданием монографии «Птицы и млекопитающие Карелии как биоиндикаторы химических загрязнений», касались, в основном, тяжелых металлов и охотничьих видов животных. В данном случае объекты исследования гораздо шире (представители практически всех групп теплокровных животных) и существенно расширен спектр изученных токсикантов. В настоящей работе предпринята попытка обобщить накопленный материал и вскрыть основные закономерности накопления, распределения и экскреции токсичных веществ организмом млекопитающих и птиц Карелии. Т. о., это действительно обобщение исследований в области экологической токсикологии животных. Вместе с тем, мы намеренно дистанцировались от детального рассмотрения тех или иных физиологических реакций организма животных на тот или иной вид токсического воздействия. Определялись и анализировались, в основном, количественные либо процентные показатели степени загрязненности организма различными токсикантами, на основе чего прогнозировались ответные реакции биосистем на организменном или популяционном уровнях.

В то же время, как отмечает В. С. Безель (1987): «Исследуемая проблема охватывает широкий круг вопросов токсикокинетики и токсичности загрязнителей у лабораторных животных, особенности накопления их природными популяциями, некоторые аспекты экологии изучаемых видов, популяционные механизмы регуляции численности и т. д. Естественю,

что сегодня нереально рассчитывать на получение исчерпывающей информации о закономерностях накопления токсических элементов из природных экосистем. Поэтому особую значимость приобретают методы обобщения и анализа эмпирических данных других авторов». Получение конкретных данных, с помощью которых возможна оценка критических уровней токсикантов у птиц и млекопитающих, обитающих в природе крайне затруднено. Для этого мы привлекали литературные данные с последующим их сравнением и экстраполяцией на природные популяции птиц и млекопитающих Карелии.

Практическая значимость. Дальнейшая разработка обоих направлений экотоксикологии представляет самостоятельный научный и практический интерес в связи с постоянно растущей ролью антропогенного фактора в глобальных процессах, происходящих в биосфере. Полученные данные позволяют лучше понимать и анализировать поведение токсикантов в природной среде, их дрейф, аккумуляцию, биоконцентрирование, трансформацию, детоксикацию и экскрецию в различных биосистемах, а также оценивать реакцию биосистем на воздействие токсикантов, в частности, реакцию популяций и сообществ. Анализ поллютантов в органах и тканях теплокровных животных, обитающих в различных экосистемах (наземные, водные - пресноводные, морские) помогает дать оценку устойчивости разных экосистем к тому или иному виду антропогенного загрязнения и прогнозировать их возможные изменения.

Полученные данные позволяют предложить своего рода «оценку качества» природной среды региона, его водных и наземных (прежде всего лесных) экосистем с прямым выходом на гигиенический аспект проблемы - степень опасности для человека при употреблении в пищу тех или иных видов охотничьих животных и разрабатывать рекомендации по безопасным нормам потребления. Выводы диссертации могут служить основой при создании системы мониторинга состояния природной среды региона в целом или отдельных его экосистем, при проведении экологических экспертиз планов создания промышленных объектов.

Данные этого исследования были использованы при разработке бюджетной темы «Оценка экологической ситуации в Карелии», при составлении Государственного доклада о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2000 г. и при оценке степени и направления влияния Петрозаводского полигона твердых бытовых отходов на окружающие природные комплексы.

Материалы работы использовались при проведении комплексных экологических и эколого-экономических экспертиз планов строительства промышленных объектов, состояния отдельных природно-территориальных комплексов и т.д., осуществляемых по заданию Правительства и Министерства экологии и природных ресурсов Республики Карелия.

Положения, выдвигаемые на защиту:

1. У водных и наземных теплокровных животных, птиц и млекопитающих, т.е. и в экологическом и в систематическом аспектах, аккумуляция ксенобиотиков в организме, их распределение по органам и тканям подчиняются единому закону. Т. о., существует единая организменная стратегия адаптации популяций птиц и млекопитающих региона к техногенному загрязнению окружающей природной среды.
2. Для популяций птиц и млекопитающих Карелии характерна гетерогенность по уровню загрязненности их ксенобиотиками, т. е. отдельные группировки животных накапливают в организме различные количества токсикантов и, следовательно, в разной степени подвергают риску токсического воздействия. В этом аспекте пол и возраст животных являются основными факторами, обуславливающими гетерогенность популяций.
3. Существуют четко выраженные межвидовые отличия в степени загрязненности популяций теплокровных животных Карелии техногенными токсикантами. Факт таких отличий свидетельствует о том, что техногенное загрязнение территории региона уже перешло порог, за которым его еще можно было характеризовать как незначительное. На сегодняшний день нужно говорить о среднем, а в отдельных случаях и о высоком (например, экосистема Ладожского озера) уровне загрязненности экосистем региона.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие во всех без исключения полевых работах по сбору экспериментального материала. Вся научная и организационная работа по выбору как объектов исследования, так и приоритетных загрязнителей природной среды выполнена лично автором. Самим автором выбирался тот или иной аналитический метод для определения конкретных поллютантов в объектах исследования исходя из следующих параметров: достоверность получаемых результатов, стоимость анализа, бюджет времени на выполнение анализов, близость аналитической лаборатории (т. е. возможность в максимально сжатые сроки доставить материал для его анализа). Вся организационная работа по налаживанию сотрудничества с различными аналитическими лабораториями России и Финляндии выполнена лично автором, либо при его непосредственном участии. Анализ, обобщение и интерпретация представленных в диссертации материалов выполнены лично автором.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на ряде международных, всесоюзных, всероссийских и региональных конференций, совещаний и симпозиумов. Основными из них являлись: республиканская конференция молодых ученых «Актуальные проблемы биологии и рациональное природопользование» (Петрозаводск, 1990); первый Международный симпозиум «Зооиндикация и экотоксикология животных в условиях техногенного ландшафта» (Украина, Днепропетровск, 1993), три Международных симпозиума «Экологические проблемы Ладожского озера» (Россия, Санкт-Петербург, 1993; Финляндия, Йюэнсуу, 1996; Россия, Петрозаводск, 1999), две Международных конференции «Тюлени Балтики» (Швеция, Ньючепинг, 1994; Эстония, Пярну, 1999), Международная конференция «Крупные озера Европы - Ладожское и Онежское» (Петрозаводск, 1996), Международная конференция «Analytical Sciences and Spectroscopy» (Monreal, Canada, 1997), Всероссийское совещание «Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия» (Апатиты, 1998), Международная конференция «Экология таежных лесов» (Сыктывкар, 1998), два Международных симпозиума «Динамика популяций охотничьих животных северной Европы» (Петрозаводск, 1998; Сортавала, 2002), Международный семинар «Роль дестественной биоты в современных условиях глобальных изменений окружающей среды. Биотическая регуляция» (Петрозаводск, 1998), Международная конференция «Сохранение биологического разнообразия Фенноскандии» (Петрозаводск, 2000), Международный семинар «Pohjois-Laatokan laihueyhteistyöseminaari Sortavalassa ja Lahdenpohjan Vatikassa» (Сортавала, 2000), Международная конференция «Biodiversity and conservation of boreal nature» (Финляндия, Кухмо, 2000), Международная конференция «Биологические основы устойчивого развития прибрежных морских экосистем» (Мурманск, 2001), XXXII Международная конференция «Environmental and Health Aspects of Mining, Refining and Related Industries» (Skukuza, South Africa, 2001) 11 Международный симпозиум по биоиндикаторам «Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга» (Сыктывкар, 2001), вторая Международная конференция «Морские млекопитающие Голарктики» (Байкал, 2002).

Публикации. Всего опубликовано 72 работы, из них по теме диссертации 41, в числе которых одна монография и 25 статей, из них 15 работ в центральной печати и в рецензируемых международных периодических изданиях.

Объем и структура работы. Рукопись объемом 261 стр. состоит из введения, 7 глав, заключения и выводов, содержит 56 таблиц, 21 рисунок и список литературы из 548 работ, в том числе 381 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Проблемы экотоксикологии природных популяций птиц и млекопитающих (литературный обзор)

В главе рассматривается концепция видов-индикаторов антропогенных загрязнений, подробно анализируется современное состояние исследований в области популяционной экотоксикологии птиц и млекопитающих, характеризуются основные методические подходы к проблеме.

В настоящее время разработана система критериев для выбора животных биоиндикаторов (Криволуцкий и др., 1983; Ellenberg et al., 1985), а также даны определения видов-индикаторов и видов-мониторов антропогенного загрязнения природной среды. Согласно им, биоиндикатор - это организм или сообщество, легко соотносимое с определенными факторами природной среды, отражающее их состояние или служащее количественным показателем изменений. Биомониторы - организмы, в которые включаются или накапливаются поллютанты и которые отражают тенденции изменений концентраций последних во времени и пространстве.

В обзорной статье, посвященной млекопитающим как биомониторам присутствия тяжелых металлов в окружающей среде, С.Д. Рен (Wren, 1986) полагает, что есть только два основных метода биомониторинга металлов в природной среде с использованием животных-индикаторов:

1. Измерение аккумуляции или концентрации токсинов в отобранных для мониторинга организмах.

2. Измерение воздействия токсинов на организм или популяцию (измерение физиологических и биохимических индексов, вычисление темпов репродукции, изучение возрастной структуры популяции как ответ на воздействие специфических условий среды).

Однако точное определение таких параметров у диких животных затруднено из-за ограниченной доступности особей и недостатка надежной информации, связанной с естественным состоянием данного вида. Кроме того, ответ на воздействие токсинов будет микширован естественными стрессами (болезнь, климат, голодание) и флуктуациями популяций. Напротив, общее измерение поллютантов в организме может дать точные данные по наличию в природе, мобильности и судьбе элементов в экосистемах. В то же время следует особо подчеркнуть, что во время измерения концентраций токсикантов в тканях организмов, полученные данные не *будут* иметь нужной биологической или экологической значимости, если их не связывать и не сравнивать с токсикологическими и экспериментальными наблюдениями. Факторы, которые влияют на аккумуляцию металлов дикими животными, делятся на две категории: биотические и абиотические. Биотические - вид, пол, возраст, питание, сезон, орган (ткань), участие элементов в обменных процессах организма; абиотические - локальное загрязнение металлами, геохимические провинции, температура (сезон), методика определения.

Многие из этих факторов взаимосвязаны. Например, разница в уровнях металла между видами может быть обусловлена разницей в питании и обмене веществ. Животные разного возраста могут иметь разные темпы метаболизма и потреблять различную пищу. Питательность рациона также может сказываться на аккумуляции некоторых металлов. Сезон добычи животных будет влиять на физиологическое состояние (упитанность, репродуктивный цикл). Сезон может влиять и на диету, определяя доступность того или иного корма, тогда как питательность и элементный состав растительности могут сезонно флуктуировать.

В зависимости от видов, выбранных в качестве индикаторов, их распространения, трофического уровня, других биологических особенностей, определенные в них концентрации токсикантов могут отражать загрязнения различного характера (глобальное, региональное, локальное), а также временные тенденции этих загрязнений.

Характеризуя состояние исследований по проблеме, и особенно их методические аспекты, можно сделать следующие выводы:

1. Использование различных видов птиц и млекопитающих в качестве индикаторов и мониторов позволяет оценивать силу и направленность влияния всех видов загрязнения (глобального, регионального, местного), а также отслеживать их временные тенденции, амплитуду и частоту флуктуации.

2. Для поллютантов, принадлежащим к разным классам (тяжелые металлы, хлорорганические соединения), характерны свои особенности биоаккумуляции в организме теплокровных животных. Если воздействию тяжелых металлов в большей степени подвержены

растительноядные и рыбацкие животные, то хлороорганические соединения более активно накапливаются в организме всеядных птиц и млекопитающих, а также у хищников с узким спектром питания.

3. Анализ поллютантов в органах и тканях теплокровных животных, обитающих в различных экосистемах (наземные, водные - пресноводные, морские) позволяет дать оценку устойчивости разных экосистем к тому или иному виду антропогенного загрязнения.

4. Данные анализа поллютантов обоих классов (тяжелые металлы и хлороорганические соединения) в органах и тканях теплокровных животных могут быть успешно применяемы в популяционных исследованиях.

Вместе с тем абсолютное большинство исследований в этой области посвящено преимущественно изучению небольшого спектра токсикантов какого либо одного из классов (либо тяжелые металлы, либо хлороорганические соединения), причем набор исследуемых видов птиц и млекопитающих невелик (обычно 2-3, редко больше) и все они - обитатели либо наземных, либо водных экосистем. Практически отсутствуют комплексные работы по оценке степени загрязненности тяжелыми металлами и хлороорганическими соединениями широкого спектра видов теплокровных животных, обитающих и в наземных и в водных экосистемах, что позволяет дать полную оценку качества природной среды какого либо региона в целом, детально выяснить направленность и силу влияния антропогенного загрязнения природной среды на млекопитающих и птиц.

Не менее актуально изучение теоретических аспектов проблемы, поведение токсикантов в природной среде, их дрейф, аккумуляция, биоаккумуляция, трансформация, детоксикация и экскреция в различных биосистемах, а также оценка реакции биосистем на воздействие токсикантов, в частности, реакция популяций и сообществ. Хотя такие работы и присутствуют (Зимин, Кузьмин, 1980; Безель, 1987; Безель и др., 1984; Frank, 1986 и др.) но их явно недостает для полного освещения проблемы, особенно для такого обширного региона как Восточная Фенноскандия (крайний запад таежной зоны России).

Глава 2. Характеристика района исследований, программа, методика и исходные материалы

2.1. Эколого-географическая характеристика региона исследований. Приводится эколого-географическая характеристика района работ: географическое положение, рельеф местности, ландшафтная специфика, гидрологическая характеристика, климатические особенности, основные типы почв и характеристика лесного покрова, особенности почвотных экосистем, приводится оценка экологической ситуации в Карелии.

Территория Карелии охватывает юго-восточную часть Балтийского кристаллического щита, сложенного древними архейскими и протерозойскими породами (гранитами, гнейсами, кварцами и др.). Значительную роль в создании современного рельефа сыграло неоднократное оледенение территории. Ледники, сгладив резкие выступы вершин и заполнив глубокие понижения рыхлыми ледниковыми осадками, придали рельефу специфический облик. В результате деятельности ледниковых вод были созданы разнообразные формы рельефа (озы, камы, волнистые песчаные равнины и т.п.). Покров ледниковых отложений распределен по территории республики весьма неравномерно. Наряду с районами сплошного развития ледниковых осадков, встречаются большие площади, где эти осадки имеют незначительную мощность и часто прерываются обнажениями кристаллических пород (Бискэ, 1959).

Согласно ландшафтной классификации (Волков, 1986, 1988, 1996; Волков и др., 1979, 1981, 1985, 1990, 1995; Громцев, 1989, 1993, 2000) наибольшее распространение в Карелии получили денудационно-тектонические холмистые и холмисто-грядовые, ледниковые и водно-ледниковые холмисто-грядовые ландшафты и ландшафты озерных, озерно-ледниковых и морских равнин.

С неоднократными оледенениями связана особенность территории Карелии - ее озерность и параллельная ориентировка большинства озер. Их в республике насчитывается около 61 тыс. Среди них - крупнейшие в Европе Ладожское и Онежское, большие озера типа Выгозеро, Топозеро, Сегозеро и множество более мелких. Северо-восточная граница республи-

ки проходит по берегу Белого моря. Свыше 500 км его береговой линии, не считая множества островов, приходится на долю Карелии. Рек в Карелии более 23 тысяч, а общая протяженность водной сети оценивается почти в 83 тыс. км (Атлас..., 1989).

Климат Карелии характеризуется продолжительной, относительно мягкой зимой и коротким прохладным летом, значительной облачностью, неустойчивой погодой и достаточным для нормальной вегетации количеством осадков в течение всего года.

Среднегодовые температуры на севере - отрицательные (-0,5°), а на юге республики - положительные (+2,6°). Активный вегетационный период длится от 70 дней в северной климатической зоне до 100 дней в южной. Общая продолжительность вегетационного периода изменяется от 120 до 150 дней соответственно.

Основная почвообразующая порода - морена, песчаная или супесчаная, реже суглинистая. На севере преобладают валунные пески, на юге - валунные супеси и суглинки. Почвообразование в Карелии идет по типу подзолообразования и заболачивания, что обусловлено особенностями климата и воздействием лесной растительности (Морозова, Федорен, 1992).

Республика Карелия расположена в таежной зоне, где преобладают хвойные леса. Хвойные леса из ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) занимают большую часть территории. В северной и средней Карелии абсолютно господствуют сосновые леса, а в южной части преобладают ель и лиственные насаждения (Яковлев, Вороноа, 1959). Как в среднетаежной подзоне, так и в подзоне северной тайги преобладают леса со средней и высокой степенью пирогенной уязвимости (Волков и др., 1990, 1995).

Болотные экосистемы, занимающие в Карелии значительные площади, разнообразны по составу и структуре растительного покрова. Болота выступают в качестве субдоминантных экосистем в обеих таежных подзонах Карелии. Особенность болот заключается в сложности (разнотипности) торфяных залежей (Едина и др. 1984; Коломьшев 1993, 2001).

Карелия принадлежит к индустриально развитым районам России. Основными в республике являются предприятия лесной и целлюлозно-бумажной, машиностроительной и металлургической промышленности, теплоэнергетики и производства стройматериалов. На их долю приходится основной объем выбросов вредных веществ в атмосферу (сернистый газ [55-60%], пылевые выбросы, содержащие тяжелые металлы, окислы азота и др.), а также промышленных стоков. Значительную роль в загрязнении природной среды играет автотранспорт. Причем, если за прошедшие десять лет объемы атмосферных выбросов от промышленных предприятий с 1991 по 2001 гг. снизились более чем в 2 раза, с 286 тыс. тонн до 141,5 тыс. тонн, то выбросы от автотранспорта только в 1993 г., по сравнению с 1989 г. возросли в 1,5 раза (Экологическая..., 1993; Государственный доклад ..., 1993-2002).

Основная часть выбросов в атмосферу (75,7%) приходится на промышленные центры республики (г. Костомукша, г. Кондопога, г. Петрозаводск, г. Сегежа, г. Питкяранта, г.г. Надвоицы). Эти источники являются поставщиками в природную среду целого спектра элементов, в том числе и таких, как ртуть, кадмий, свинец, цинк, никель, медь, алюминий, железо, мышьяк, хром, марганец, фтор. Остро стоит в республике вопрос об утилизации ртутьсодержащих отходов, прежде всего, ртутных ламп. Значительно участие в загрязнении воздушной среды республики трансграничного переноса поллютантов, попадающих не только от ближайших соседей, но и из стран Западной Европы.

Крупнейшие озера Европы - Ладожское и Онежское - испытывают сильное загрязнение промышленными, сельскохозяйственными и коммунальными стоками. Значительному загрязнению подвергается и Белое море, потенциальную угрозу которому представляют также и захоронения высокотоксичных веществ.

В целом экологическая ситуация в Карелии характеризуется как достаточно напряженная (Государственный доклад..., 1993-2002), и перед республикой стоят проблемы загрязнения природной среды, во многом схожие с таковыми в странах Европы и Северной Америки.

2.2 Фаунистическая и зоогеографическая характеристики региона исследований. Расположение Карелии в пределах северотаежной и среднетаежной подзон, т.е. на стыке двух

крупных фаунистических комплексов (Нейфельд, 1958; цит. по Ивантер, 1975а), значительная вытянутость ее территории с севера на юг, разнообразие и мозаичное размещение природных комплексов, наряду с историческими особенностями формирования биоценозов, обуславливают сложное строение фауны, гетерогенный, смешанный характер ее основных элементов (Ивантер, 1968, 1975а).

Фауна Карелии гетерогенна и состоит как из широтных, главным образом экологических, так и долготных, преимущественно исторических элементов. К этому надо добавить, что ее в значительной степени (почти наполовину) слагают виды, обитающие здесь у границ ареалов (Ивантер, 1975а).

Полная характеристика фауны птиц и млекопитающих Карелии представлена в работах М.Л. Марвина (1951,1959), Э.В. Ивантера (1968,1974,19756,1986), Э.В. Ивантера и Г.А. Троицкого (1967), П.И. Данилова (1979, 1983), П.И. Данилова и др. (1979), П.И. Данилова и И.Л. Туманова (1976), В.Б. Зимина и Э.В. Ивантера (1986), Зимина и др. (1993), Данилова и др. (1998, 1999, 2000а, 2000б, 2001).

К настоящему времени на территории республики встречены 280 видов птиц (Красная книга Карелии, 1995) из которых 207 - достоверно гнездящиеся и 31 вид встречен только в период миграций. Фауна млекопитающих состоит из 63 видов.

Среди птиц и млекопитающих наиболее широко представлены западноевропейские и южные формы (35%), свойственные полосе широколиственных лесов, далее следуют широко распространенные в Евразии виды-транспалеаркты (33%) и таежные (сибирские) формы (24%). Около 10% видового состава принадлежат к арктическим (полярным) видам.

В соответствии с лесным обликом территории Карелии основу фауны республики составляют виды-дендрофилы. Они наиболее многочисленны, широко распространены и преобладают над прочими, составляя более 60%. На долю гидрофильных видов птиц и млекопитающих приходится 30% всех видов. Обитатели открытого, преимущественно культурного ландшафта немногочисленны (менее 10% видов).

Среди млекопитающих 25 видов служат объектами охоты. Из копытных и крупных хищников - это лось (*Alces dices* L.), северный олень (*Rangifer tarandus* L.), бурый медведь (*Ursus arctos* L.) и кабан (*Sus scrofa* L.). Среди пушных зверей в добыче охотников преобладают белка (*Sciurus vulgaris* L.), американская норка (*Mustela vison* Briss.), ондатра (*Ondatra zibetica* L.), куница (*Martes martes* L.). Из пернатой дичи наиболее популярна и результативна охота на рябчика (*Tetrastes bonasia* L.), тетерева (*Lyrurus tetrix* L.) и глухаря (*Tetrao urogallus* L.).

Серебристая (*Larus argentatus* Pontopp.), сизая (*L. canus* L.) и озерная чайки (*L. ridibundus* L.), клуша (*L. fuscus* L.), речная (*Sterna hirundo* L.) и полярная крачки (*St. paradisaea* Pontopp.), а также гагарка (*Alca torda* L.) - виды птиц, которые образуют колонии на Белом море, Ладожском и Онежском озерах и некоторых внутренних водоемах республики (Медведев, Сазонов, 1994; Сазонов, Медведев, 1997; Зимин и др., 1998; Хохлова, Артемьев, 1999; Хохлова и др., 2000; Михалева и др., 2000; Хохлова и др., 2001; Лапшин, 2002; Кондратьев, Лапшин, 2003).

Фауна морских млекопитающих Карелии представлена 6 видами, принадлежащим к двум отрядам; отряд ластоногих (*Pinnipedia*) - кольчатая нерпа (*Pusa hispida* Schreb.), морской заяц (*Erignathus barbatus* Erxl.) и гренландский тюлень (*Phoca groenlandica* Fabr.); отряд китообразных (*Cetacea*) - белуха (*Delphinapterus leucas* Pall), косатка (*Orcinus orca* L.) и морская свинья (*Phocaena phocaena* L.). Для кита-косатки отмечены лишь случаи отдельных заходов в Белое море.

2.3. Программа, материал и методика исследований. Программа работы включала исследования по следующим основным направлениям:

1. Характер распределения и депонирования поллютантов в организме теплокровных животных Карелии.

2. Основные факторы, определяющие межвидовые различия в степени загрязненности организма птиц и млекопитающих и в особенностях поступления поллютантов в организм.

3. Временная динамика концентрации токсикантов в организме птиц и млекопитающих Карелии.
4. Особенности перераспределения токсичной нагрузки с организменного уровня на популяционный.
5. Экскреция токсикантов из организма птиц и млекопитающих Карелии посредством линьки наружных покровов.
6. Популяционные реакции млекопитающих Карелии на техногенное загрязнение.

2.3.1. Объем экспериментальных исследований

Сбор материала проводился в период с 1989 по 2001 гг. Пробы от лосей, медведей и кабанов были получены через ветеринарную лабораторию центрального рынка г. Петрозаводска во время ветеринарного освидетельствования добытых охотниками животных.

Пробы полетного оперения тетеревиных птиц были добыты с помощью районных охотведов Государственной охотничьей инспекции, после раздачи им листовок-инструкций для охотников. Для получения проб волосяного покрова, костной ткани, зубов и рогов лесного северного оленя была использована коллекция черепов этого животного лаборатории зоологии Института биологии Карельского научного центра РАН. Количество особей каждого вида показано в табл. 1

Таблица 1

Объем собранного материала
на наличие токсикантов (количество проб)

Вид	Число особей
Лось	67
Северный олень	148
Кабан	10
Бурый медведь	18
Белка обыкновенная	18
Нерпа кольчатая	63
Морской заяц	3
Рыжая полевка	312
Темная полевка	45
Тетерев	8
Глухарь	65
Рябчик	40
Всего:	797

С целью изучения влияния эмиссий Костомукшского ГОКа - крупнейшего в Карелии источника промышленных загрязнений - на популяции мелких млекопитающих в 1992-93 гг. методом ловушко-линий (Кучерук и др., 1963, 1964; Туликова, Емельянова, 1975) проводился отлов двух наиболее массовых видов грызунов Костомукшского заповедника с различным типом питания - рыжей и темной полевки. Отловы проведены на четырех площадках, расположенных в массивах коренных лесов на территории заповедника. Три площадки были организованы в северной части заповедника, подверженной эпизодическому воздействию выбросов комбината. Четвертая (контрольная) площадка размещалась в южной части заповедника, на удалении тридцати километров от источника загрязнения.

С целью изучения влияния полигона твердых бытовых отходов (ТБО) Петрозаводска на население мелких млекопитающих окружающих природных комплексов в октябре 2001 г. проведены контрольные отловы, инвентаризация фауны мелких млекопитающих, изучение биотопического распределения зверьков методами относительного прямого учета с помощью давилок Геро.

Пробы от тюленей Ладожского озера и Белого моря были добыты от зверей, погибших в рыболовных сетях летом (Ладожское озеро) либо в мережах в зимний период (Белое море). Пробы отбирались на рыбзаводе города Сортавала и Базе гослова рыбы города Беломорска.

Для анализа отбирались пробы внутренних органов животных: печени, почек, легких, сердца; пробы мышечной и костной тканей, подкожного жира, пробы зубов, рогов, волосяного покрова зверей и полетного оперения птиц. При отборе проб регистрировались пол, вес и возраст животных, а также, по возможности, вес внутренних органов (печень, почки и т.д.). Для всех исследованных животных были известны дата и место добычи.

Яйца серебристой, сизой и озерной чайк, крачки и вороны были собраны в 1989 и 1990 годах в нескольких точках южной Карелии (табл. 2). Из каждой кладки наугад выбиралось одно яйцо и помещалось в пластиковый контейнер для последующей транспортировки. Все яйца добывались в начале инкубационного периода, степень развития яйца определялась при помощи водного теста (Флинт, Сорокин, 1987).

Таблица 2

Яйца птиц, собранные для анализа на присутствие хлорорганических соединений

Вид	№
Чайка сизая	13
Чайка серебристая	14
Чайка озерная	3
Крачка речная	17
Ворона серая	5
Всего	52

Анализ образцов на наличие тяжелых металлов и селена проводился на химических факультетах Московского и С-Петербургского (Ленинградского) университетов и в аналитических лабораториях Карельского и Кольского НЦ РАН. В собранном материале было выполнено 6000 определений таких элементов, как ртуть, кадмий, свинец, медь, никель, цинк, сера, селен, а также хлорорганических соединений: ДДТ, ДДЕ, ДДД, различные изомеры ПХБ и гексахлорциклопексана.

Определение содержания микроэлементов проводилось методом атомно-абсорбционного спектрохимического анализа на спектрофотометре Perkin-Elmer 603 (определение Zn, Си, Ni) и на Perkin-Elmer 5000, оснащенный графитовым атомизатором HGA-76 (определение Cd и РЬ). Ртуть определялась методом «холодного пара» на специальном анализаторе ртути «Юлия-2». Во всех случаях проводилось от 3 до 5 параллельных опытов (т.е. от 3 до 5 проб на образец). Каждая проба анализировалась в 3-4 повторностях. Для калибровки были использованы стандартные растворы металлов компании Spectroscan (Норвегия) для Cd, Pb, Zn, Си, Ni и Государственный стандарт (Россия) для калибровки ртути. Ошибка (сигма) метода в целом не превышала 10%. Для проведения интеркалибровки часть проб параллельно анализировалась в аналитической лаборатории Университета Йюэнсуу (Финляндия). Ртуть определяли на анализаторе ртути (Jerome Instrument Corporation, Model 511). Анализ полученных результатов показал их высокую сопоставимость (ошибка не превышала 20% от среднего).

Определение серы выполнялось в аналитической лаборатории Института леса Карельского НЦ РАН (стандарт лаборатории) колориметрическим методом. С этой целью 0,2 г гомогенизированной пробы были подвергнуты мокрому озолению в смеси концентрированной азотной кислоты + хлорная кислота + 30-процентная перекись водорода. Оптическая плотность растворов измерялась на спектрофотометре Specord M-40. Ошибка (сигма) метода не превышала 10%.

Хлорорганические пестициды определялись методом газовой хроматографии в группе хроматографического анализа Института биологии Карельского НЦ РАН. Определение выполнено на газовом хроматографе Gasochrom 1109, оснащенный детектором электронного захвата. Предел обнаружения пестицидов равнялся 0,1-0,4 нанограмм в грамме и ошибка (сигма) метода составляла 15-20%.

Определение концентраций альфа-, бета- и гаммагексахлорциклогексана, семи изомеров ПХБ, ДДТ и его метаболитов в подкожном жире кольчатой нерпы Ладожского озера и Белого моря выполнено в аналитической лаборатории биологического факультета Университета Йюэнсуу (Финляндия). Определение концентраций хлорорганических соединений выполняли на газовом хромато-масс-спектрометре Hewlett-Packard 6890 с масс-селективным детектором (GC-MSD).

Полученный в результате химических анализов массив данных был обработан статистически на персональном компьютере с использованием пакета STATGRAPHICS. В связи с тем, что распределение полученных нами значений в большинстве случаев отличалось от нормального, помимо широко распространенных параметрических методов использовались также и непараметрические (Лакин, 1980; Поллард, 1982; Ивантер, Коросов, 1992). Для проверки достоверности отличий между двумя выборками использовались критерии Стьюдента и Фишера, а между несколькими независимыми выборками по одному признаку - однофакторный дисперсионный анализ и непараметрический дисперсионный анализ с применением критерия Краскала-Уоллиса. Для выяснения взаимозависимости между двумя и более выборками применялись регрессионный анализ и коэффициент ранговой корреляции Спирмана. Для всех видов статистического анализа был принят уровень значимости 0,05.

23.2. Общий объем работ

Сбор экспериментального материала осуществлялся в период с 1989 по 2001 год. В значительной степени он заключался в проведении массового пробоотбора следующего содержания и объема.

Непосредственно автором, либо при его участии проведен отбор проб от всех особей морских млекопитающих (66 особей, не менее 400 проб), определены основные морфометрические параметры добытых животных, для каждой особи регистрировалось до 15 показателей. Определение возраста у 48 особей кольчатой нерпы выполнено лично автором.

Автор непосредственно производил отбор проб костной ткани, зубов и рогов северного оленя и лося (128 особей, более 300 проб) и принимал участие в определении пола и возраста у всех исследованных животных.

Лично автором была организована система сбора проб полетного оперения тетеревиных птиц от добывших их охотников через районных охотоведов и инспекторов. Вся организационная работа по сбору проб внутренних органов и тканей охотничьих животных (250 особей, около 1000 проб) через ветеринарную лабораторию центрального рынка г. Петрозаводска, либо непосредственно от охотников, с обязательной регистрацией исходных данных по каждой особи (до 10 параметров) выполнена самим автором.

Сбор проб яиц из колоний чайковых, яиц вороны, проб сосновой хвои и образцов картофеля (всего 70 проб) был выполнен лично автором во время проведения экспедиционных работ, либо однодневных полевых выездов.

Вся камеральная работа по классификации собранного материала, его маркировка и предварительная пробоподготовка (сушка до постоянного веса, либо заморозка) и, в большинстве случаев, транспортировка проб в аналитические лаборатории выполнены лично автором. Исключение составляют сбор и пробоподготовка материала от мышевидных грызунов Костомукшского заповедника.

Сбор данных по современному состоянию популяций некоторых видов морских млекопитающих Карелии осуществлялся в процессе экспедиционных работ в период с 1986 по 2003 г. Протяженность учетных маршрутов (водных и наземных) составила порядка 40 тыс. км. Авиачеты распределения и численности ладожской нерпы были выполнены на маршрутах общей протяженностью 5,5 тыс. км.

Вся статистическая обработка полученных данных проведена лично автором, либо при его непосредственном участии.

Глава 3. Особенности накопления и распределения токсичных веществ в организме птиц и млекопитающих - обитателей наземных экосистем

3.1. Характер распределения поллютантов в организме животных. В данном разделе рассматривается специфика аккумуляции тяжелых металлов организмом птиц и млекопитающих. Подробно анализируется взаимосвязь в накоплении этих токсинов в различных тканях и органах.

Производство и использование тяжелых металлов особенно возросло во второй половине текущего столетия. Все это повлекло за собой резкое увеличение поступления тяжелых металлов в биосферу. Как и хлорорганические соединения, тяжелые металлы попадают в пищевые цепи и способны к аккумуляции в живых организмах, оказывая на них негативное влияние. Именно для тяжелых металлов характерно воздействие с отдаленными последствиями, а в перспективе они могут стать самыми опасными загрязнителями, опережая радионуклиды и органические поллютанты.

Концентрация кадмия, свинца, меди, цинка, никеля и железа во внутренних органах и тканях изученных нами охотничьих животных представлена в таблицах 3 и 4

Таблица 3

Концентрация тяжелых металлов (мг/кг сырого веса) у тетеревиных птиц

Вид	n	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn
		M±m min-max	M±m min-max	M±m min-max	M±m min-max	M±m min-max
П Е Ч Е Н Ь						
Глузгарь	10	1,10±0,08 0,73-1,60	1,76±0,18 0,81-2,90	4,61±0,46 2,93-7,80	0,18±0,02 0,11-0,26	33,59±2,02 24,80-44,0
Тетерев	6	1,06±0,11 0,63-1,37	1,46±0,24 0,91-2,38	3,96±0,25 2,93-4,83	0,26±0,08 0,09-0,54	46,84±8,14 24,87-67,0
Рябчик	18	2,53±0,35 0,57-5,43	1,72±0,20 0,63-3,67	7,01±0,85 4,0-18,77	0,15±0,02 0,05-0,31	32,92±1,25 24,57-43,67
П О Ч К И						
Глузгарь	2	0,13 0,12-0,15	1,09 1,05-1,12	1,94 1,62-2,26	0,10 0,06-0,14	20,01 17,96-22,06
Тетерев	3	1,43±1,20 0,22-3,85	0,21±0,06 0,10-0,27	2,35±0,79 1,06-3,78	0,21±0,01 0,20-0,23	18,15±2,91 12,64-22,54
Рябчик	5	1,48±0,51 0,62-2,94	2,51±0,94 0,48-6,08	2,41±0,62 1,60-4,86	0,11±0,02 0,04-0,16	22,15±3,33 12,54-30,4
М Ы Ш Ц Ы						
Глузгарь	7	0,19±0,04 0,06-0,35	1,28±0,38 0,33-3,25	3,10±0,25 2,13-4,13	0,12±0,03 0,04-0,24	27,79±5,86 8,25-44,00
Тетерев	5	0,32±0,16 0,06-0,95	0,86±0,31 0,19-1,77	3,20±0,23 2,65-3,80	0,13±0,05 0,06-0,32	24,07±5,50 13,1-44,00
Рябчик	7	0,64±0,16 0,34-1,57	2,18±0,88 0,34-7,13	4,50±0,98 2,13-8,40	0,17±0,02 0,12-0,23	24,90±5,74 9,43-43,50

Нами установлено, что почки всех исследованных видов млекопитающих, обитателей как наземных (лось, бурый медведь, кабан, белка), так и водных экосистем (кольчатая нерпа), содержали максимальные концентрации кадмия по сравнению с другими внутренними органами и тканями (табл. 3 - 4, и табл. 9), что указывает на главную роль почек как органов-фильтраторов в аккумуляции кадмия организмом животных.

Печень является органом, обеспечивающим барьерную функцию между организмом и средой, накапливающим и нейтрализующим природные токсиканты. Концентрации кадмия,

обнаруженные в печени изученных видов птиц и млекопитающих Карелии, были значительны. Высокие уровни этого металла были найдены в легких, а его минимальное содержание отмечено в мышечной ткани (табл. 3 - 4) у птиц и млекопитающих.

Таблица 4

Концентрация тяжелых металлов (мг/кг сырого веса) в организме млекопитающих Карелии

Виды	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Fe
	M+m min – max n	M+m min – max n	M+m min – max n	M+m min – max n	M+m min – max n	M+m min – max n
1	2	3	4	5	6	7
П Е Ч Е Н Ь						
Лось	1.18±0.15 0.09–5.30 57	1.69±0.21 0.38–8.23 57	43.54±6.11 31.2–70.17 25	0.12±0.01 0.08–0.14 25	40.66±5.02 25.37–64.5 25	173.44±10.82 115.33–273.2 18
Бурый медведь	1.12±0.15 0.24–2.40 15	1.78±0.39 0.57–5.76 15	26.20±3.04 17.37–42.7 15	0.08±0.01 0.05–0.15 15	51.39±3.69 37.7–61.83 15	275.83±64.72 53.67–832.11 15
Кабан	0.16±0.04 0.05–0.45 9	0.46±0.08 0.17–0.97 9	*	*	*	*
Белка	0.47±0.04 0.23–0.83 18	2.56±0.28 1.23–5.77 18	*	*	*	*
П О Ч К И						
Лось	4.78±0.55 0.16–13.3 38	0.54±0.04 0.25–1.38 38	6.45±3.33 2.02–36.34 10	0.10±0.01 0.07–0.14 10	28.73±2.32 16.26–41.2 10	32.28±5.62 17.23–54.8 5
Бурый медведь	6.05±1.94 0.62–24.5 12	1.00±0.11 0.64–1.82 12	4.64±0.90 2.66–8.68 12	0.03±0.01 0.02–0.04 12	28.73±2.72 20.52–37.4 12	53.74±10.49 17.6–119.08 10
Кабан	0.68±0.23 0.04–1.92 8	0.29±0.06 0.07–0.53 8	*	*	*	*
Белка	0.68±0.08 0.26–1.70 18	1.39±0.16 0.24–2.98 18	*	*	*	*
М Ы Ш Ц Ы						
Лось	0.11±0.02 0.01–0.38 28	1.43±0.17 0.35–3.75 28	3.80±0.43 2.05–5.18 28	0.08±0.02 0.03–0.15 28	36.84±6.48 22.15–65.3 28	51.16±13.00 90.0–1334.0 23
Северный олень	0.58±0.07 0.23–1.501 9	2.14±0.47 0.03–6.88 19	1.63±0.09 0.93–2.33 17	*	21.25±1.35 14.33–33.68 17	53.97±7.74 22.0–132.75 17
Бурый медведь	0.09±0.03 0.03–0.43 17			0.06±0.01 0.03–0.15 17	0.77±0.13 0.33–2.30 17	3.49±0.70 1.30–6.60 17
Кабан	0.04±0.01 0.01–0.12 8	0.27±0.03 0.15–0.45 8	*	*	*	*
Белка	0.07±0.05 0.03–0.13 8	0.84±0.23 0.01–2.28 8	*	*	*	*

1	2	3	4	5	6	7
С Е Р Д Ц Е						
Лось	0.21±0.03	1.57±0.17	6.38±0.69	0.12±0.01	29.47±1.88	52.89±4.38
	0.01-1.00 29	0.40-4.75 29	5.50-9.10 29	0.10-0.15 29	22.48-33.1	31.3-120.3 19
Бурый медведь	0.05±0.01	0.63±0.10	2.32±0.26	0.07±0.02	40.24±7.88	56.11±8.39
	0.03-0.08 10	0.28-1.25 13	1.65-2.90 13	0.03-0.11 13	25.43-58.5	35.5-124.0 10
Кабан	0.05±0.02 0.01-0.12 5	0.25±0.06 0.10-0.43 6	*	*	*	*
Л Е Г К И Е						
Лось	0.77±0.35	5.00±0.67	16.19±1.92	0.28±0.05	62.67±5.10	703.75±61.01
	0.19-3.54 9	2.20-7.60 9	11.31-20.6 9	0.15-0.37 9	52.31-76.69 9	414.62-891.54 8
Бурый медведь	0.37±0.04	2.78±0.32	9.20±0.70	0.28±0.02	106.95±11.0	868.1±337.28
	0.14-0.59 11	0.16-4.77 11	7.45-11.69 11	0.21-0.35 11	78.08-137.9 11	370.8-3180.0 8
Кабан	0.39±0.19 0.11-0.91 4	2.65±0.52 2.08-4.23 4	*	*	*	*

* - не определялись

Возрастная аккумуляция кадмия была выявлена нами в печени лосося и почках медведя (рис. 1 и 2). По этим графикам можно судить о том, что особенно быстро процесс накопления кадмия организмом происходит у животных в первые годы жизни и может быть описан синусоидальной кривой с резким подъемом в начале и с последующим выходом на плато. В

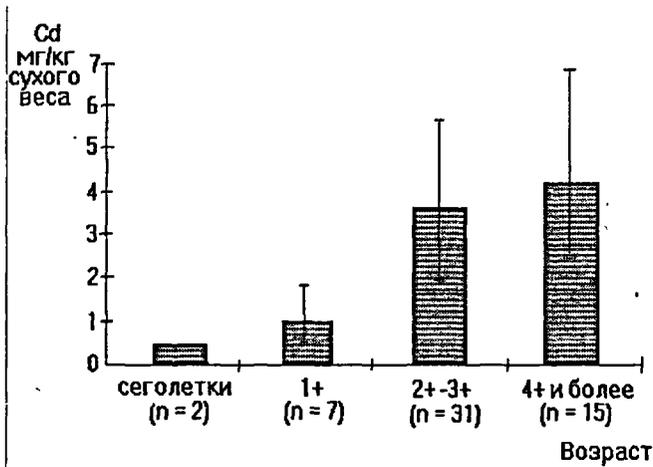


Рис. 1. Содержание кадмия в печени лососей разного возраста (M±σ)

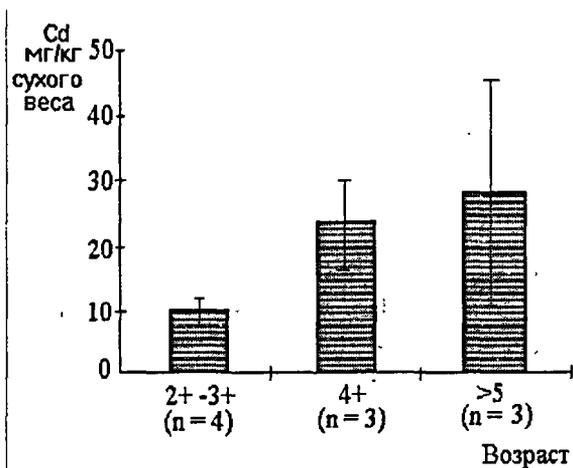


Рис. 2. Содержание кадмия в почках медведей разного возраста ($M \pm \sigma$)

материале от животных Карелии не установлено связи между концентрацией кадмия во внутренних органах и полом изученных животных. Концентрация кадмия в почках у самок лося в 1,5 раза была выше, чем в почках у самцов, но эта разница не была статистически значимой, возможно, вследствие недостаточности объема выборки. Возможно, что из-за четко выраженной и сильно сопряженной аккумуляции кадмия с возрастом, эффект влияния пола на накопление этого металла микшируется последней.

В результате гистологического исследования почек белохвостого оленя, добытого в окрестностях одного из цинковых месторождений Пенсильвании (Sileo, Beyer, 1985), выявлен критический уровень накопления кадмия в этих органах у млекопитающих (50-70 мг/кг сырого веса), при котором проявляется поражение клеточных структур. Для птиц критический уровень содержания кадмия в почках - 200 мг/кг сырого веса (Nicholson et al., 1983). Максимальная концентрация кадмия, обнаруженная нами в почках млекопитающих Карелии, составили 24,5 и 13,3 мг/кг сырого веса для медведя и лося соответственно, у морских млекопитающих (нерпа) она не превышала 2 мг/кг. Максимальная концентрация этого металла в почках тетерева и рябчика - 3,9 и 2,9 мг/кг сырого веса. Таким образом, среди выборок обследованных животных Карелии ни одна особь не содержала критических уровней кадмия, при которых предполагается наличие негативного воздействия токсиканта на организм. Вместе с тем, содержание кадмия в почках растительноядных животных Карелии (лось) весьма значительно, а с учетом нарастающего влияния антропогенного фактора, в частности, техногенного загрязнения природной среды, может достигнуть критических для организма животных значений.

Присутствие кадмия в максимальной концентрации в печени и почках исследованных животных служит доказательством того, что поступление с пищей - главный путь проникновения токсиканта в организм млекопитающих; в то же время значительный уровень металла в легких позволяет предположить, что второй важный путь проникновения кадмия в организм - поступление его с атмосферным воздухом при дыхании. Для кабана это, возможно, основной путь (табл. 4).

Гигиенический аспект. С проблемой выяснения критического уровня накопления токсиканта в организме тесно связан вопрос о предельно-допустимом количестве его поступления. Дикие копытные, бурый медведь и тетеревиные птицы - основной источник поступ-

ления на наш стол «дикого» мяса. В прошлые годы только одна охота на лося в Карелии дала его более 300 т (Ивантер, 1986).

Если исходить из рекомендованных ВОЗ/ФАО безопасных доз поступления в организм человека тяжелых металлов, а именно 0,06 мг в день кадмия и 0,7 мг для свинца (Crete et al., 1987; Fox 1987) то следует признать, что употребление в пищу мяса некоторых животных Карелии, являющихся объектами охоты, прежде всего таких их органов, как почки и печень, может представлять определенную опасность для здоровья человека. У взрослого человека общее суточное потребление белков варьирует в пределах 100 - 150 г (Фомин, 1982; Шмидт-Ниельсен, 1982). При среднем содержании белков в печени около 60% (там же) для покрытия суточной потребности в белках необходимо порядка 250 г этого продукта. Следовательно, употребление в пищу данного количества печени лося третьего или четвертого года жизни (именно на эту возрастную группу приходится большинство добываемых в Карелии животных) с концентрацией кадмия, равной 1,28 мг/кг сырого веса, приведет к поступлению в организм 0,32 мг кадмия, что в пять раз превышает рекомендуемый ВОЗ/ФАО уровень. Употребление же в пищу почек лося чревато проникновением в организм человека кадмия в количестве, в 20 раз превышающем данные нормы. Все вышесказанное в одинаковой мере относится и к употреблению человеком в пищу печени и почек бурого медведя. Особому риску будут подвергаться дети, для которых относительная суточная потребность в белках (согласно рекомендациям ВОЗ) и выражаемая в граммах потребленного белка на один кг массы тела в сутки в 3 раза превосходит таковую для взрослого человека (Фомин, 1982).

Только печень животных первого года жизни (лось, медведь) можно использовать в пищу без риска превысить рекомендуемые нормы по кадмию. Печень и почки кабана не содержат столь высоких уровней этого металла, что позволяет употреблять их в пищу без каких-либо ограничений. Это же в полной мере относится и к мясу всех исследованных видов млекопитающих (лось, бурый медведь, лесной северный олень, кабан), которое содержит самую низкую концентрацию кадмия.

Свинец. При определении содержания свинца в органах и тканях лосей, медведей, кабанов, белок, северного оленя и тетеревиных птиц Карелии самая высокая концентрация токсиканта была зафиксирована в легких, печень содержала среднюю, а мышцы и почки - минимальную концентрацию свинца (табл. 3-4). Ни возрастных, ни половых отличий в загрязнении животных свинцом не наблюдалось.

На основе полученных нами данных, что у всех исследованных животных наибольший уровень свинца найден в легких (табл. 4), можно прийти к заключению о том, что этот токсикант, прежде всего поступает в организм при дыхании, а проникновение его с пищей играет второстепенную роль. Обнаружение положительной корреляции между уровнем свинца в легких и печени медведя ($r = 0,66$, $p < 0,05$) и уровнем этого поллютанта в легких и во всех других исследованных тканях кабана является дополнительным доказательством основного пути поступления свинца в организм посредством дыхания.

Другие микроэлементы. Другие тяжелые металлы (медь, никель, цинк, железо), в отличие от ртути, свинца и кадмия, являются незаменимыми микроэлементами, необходимыми для нормальной жизнедеятельности растений, животных и человека. В то же время, находя широчайшее применение в промышленности, эти металлы иногда в больших количествах поступают в природную среду, оказывая негативное влияние на живые организмы.

В проанализированном нами материале из Карелии в самых высоких концентрациях медь была обнаружена в печени животных всех видов, что доказывает ведущую роль згой железы в качестве органа - депо микроэлемента (табл. 3-4). Минимальная концентрация меди была найдена в мышечной ткани, а в легких и почках выявлена средняя ее концентрация.

Во всех проанализированных тканях карельских животных максимальное количество никеля обнаружено в легочной ткани (табл. 4), в других органах никель распределялся равномерно, его концентрации в печени, почках, сердечной мышце и скелетной мускулатуре не имели между собой статистически значимых различий. Высокая концентрация металла (око-

ло 25 мг/кг), обнаруженная в костях черепа карельских лосей, позволяет предполагать, что, как и в случае со свинцом, скелет является главным депо этого микроэлемента в организме.

Цинк, как и никель, имел максимальную концентрацию в костях и в легких у всех исследованных нами животных. В органах и тканях лося количество цинка убывало в ряду: кости черепа (142,4 мг/кг), легкие (62,6), мышцы (36,8), почки (28,7 мг/кг). Минимальная концентрация цинка, найденная в почках лося и медведя (табл. 4), подтверждает данные В.С. Бзеся (1987) о незначительной доли цинка, экскретируемого из организма с мочой.

Самая высокая концентрация железа нами обнаружена в легких и в печени исследованных животных (табл. 4), что хорошо согласуется с ведущей ролью этого микроэлемента в транспорте кислорода кровью (железо входит в состав молекулы гемоглобина) и с ролью печени в качестве депо крови у позвоночных. Найденная нами положительная связь между концентрациями железа в мышцах лосей и возрастом особей ($r = 0,54$, $p < 0,05$), возможно, обусловлена большей двигательной активностью взрослых животных, особенно во время гона (большинство лосей были добыты в сентябре - октябре) и, соответственно, большей потребностью в кислороде опорно-двигательной системы.

Обнаруженные положительные корреляции между концентрациями железа в различных органах и тканях изученных животных - печень и почки ($r = 0,97$, $p < 0,01$), почки и сердечная мышца ($r = 0,85$, $p < 0,05$) медведя, печень и сердечная мышца как лося, так и медведя ($r = 0,57$ и $r = 0,64$, $p < 0,05$ соответственно) - свидетельствуют о наличии в организме свободных каналов транспорта железа между внутренними органами.

Корреляция между металлами. Токсическое действие на биосистемы (организм, популяция) определяется не только взятыми отдельно кадмием, свинцом или медью, но и комплексом всех остальных поллютантов, связанных с этими элементами коррелятивными связями. Выяснение взаимного варьирования концентрации металлов в различных органах и тканях птиц и млекопитающих позволяет выяснить особенности сопряженной аккумуляции поллютантов органами, что, в свою очередь, дает возможность лучше проследить и понять пути проникновения токсикантов в организм и особенности их экскреции. Явление синергизма, известное для некоторых элементов при их взаимном присутствии, когда обусловленный ими токсический эффект усиливается, характерно для кадмия и цинка (Эйхлер, 1985).

Корреляционные связи между содержанием элементов в различных органах исследованных видов животных могут быть условно разделены на три группы:

1. Совместное накопление организмом токсичных элементов. К этой группе относится сопряженная аккумуляция «классических» токсикантов - свинца и кадмия в мышечной ткани растительноядных зверей и птиц, в печени белок, в печени и почках всеядных животных (кабан, бурый медведь).

2. Механизм «защиты» организма от интоксикации на атомном и молекулярном уровнях. О наличии такого механизма свидетельствуют отрицательные коррелятивные связи между концентрациями меди и кадмия, меди и свинца в легких лося и медведя, т. е. о «пороговой» защитной функции меди, препятствующей проникновению токсикантов в организм аэральным путем. Наличие положительной корреляции, найденной между этими элементами в печени и мышечной ткани, кажется противоречием первому утверждению, но кадмий и свинец, присутствующие в печени, проникли в организм с пищей через стенки ЖКТ, который является гомеостатическим барьером для жизненно важных микроэлементов, в частности, меди (Безель, 1994). Организм вынужден нейтрализовывать токсичное действие поллютантов, наращивая концентрацию меди в печени. Железо положительно коррелирует со свинцом и кадмием в мышечной ткани, выполняя роль элемента-протектора именно на этом тканевом уровне, тогда как в легких на первый план выходит роль железа в процессе транспорта кислорода кровью.

3. Совместное участие в метаболизме некоторых микроэлементов, находящихся под контролем эндокринной системы. Прежде всего, это такие микроэлементы, как медь и цинк.

Региональный аспект. При сравнении степени загрязнения тяжелыми металлами одних и тех же видов млекопитающих из различных регионов с животными из Карелии ис-

пользовались данные о содержании тяжелых металлов, прежде всего кадмия, в лосях из соседних стран - Финляндии, Швеции, Норвегии, а также Канады и США. Концентрация кадмия в печени карельских лосей несколько превосходят таковые у лосей Финляндии и Скандинавии (табл. 5). Однако авторы не указывают средний возраст исследованных животных, т. е. один из факторов, определяющих загрязненность организма кадмием. Второй причиной, обусловившей более высокие уровни кадмия в печени лосей Карелии, может служить pH почвы. Ионы этого металла особенно подвижны в кислых почвах, каковыми и являются почвы Карелии (Морозова, Федорец, 1992).

Таблица 5

Концентрация кадмия (мг/кг сырого веса) в печени лося из различных частей его ареала

Регион	Год добычи	Концентрация Cd	Источник
США (штат Мэн)	1980	1,88	Scanlon et al., 1986
Норвегия	1983-84	0,57	там же Frøslie et al., 1984
	1978	0,46	
Канада: Ньюфаундленд Нью-Брунсвик Квебек	1988	1,04	Brazil & Ferguson, 1989 Redmond, 1987 Crete et al., 1987
	1987	7,05	
	1985	2,54	
Швеция	1973-79	0,89	Frank, 1981
Финляндия: север юго-запад юго-восток	80-е	0,48	Hyyvärinen & Nygren, 1986
		0,53	
		0,73	
Эстония	1980-82	3,0	Hödrejärv, Ott, 1983
Беларусь: Минская обл. Гродненская обл.	1983-86		Дерябина, 1995
		1,22 1,19	
Карелия	1989-91	1,18	Наши данные

3.2. Специфика питания как фактор, определяющий межвидовые различия в степени загрязненности и в особенностях поступления ксенобиотиков в организм. Элементный состав почв как результат процесса почвообразования может влиять на содержание металлов в организме животных через диету, так как элементный состав и питательный статус растительности подвержены влиянию местных почвенных условий. Особи одного вида, но добытые из разных мест, могут иметь различную концентрацию определенных элементов из-за различий в питании и в его составе между местообитаниями. Видовые различия накапливаемого уровня токсикантов в тканях и органах животных, обусловленные в определяющей мере видовой спецификой пищевых рационов, тем значительнее, чем больше загрязнение природной среды.

Данные о концентрациях тяжелых металлов в органах и тканях животных (табл. 4) свидетельствуют о том, что растительоядные (лось, северный олень) имеют значительно более высокую концентрацию токсикантов, чем всеядные (кабан).

Определение уровня кадмия и свинца в некоторых объектах питания лося (хвоя побегов первого года роста молодых осен) и кабана (картофель) позволило выявить, что концентрации тяжелых металлов в хвое (кадмий - 0,38 мг/кг сухого веса и свинец - 4,01 мг/кг сухого веса) значительно превосходят таковые в картофеле (кадмий - 0,06 мг/кг сухого веса и свинец - 0,44 мг/кг сухого веса).

Мышечная ткань северных оленей, отстрелянных охотниками в лесах Карелии, имела более высокую концентрацию свинца и кадмия, чем мышцы карельских лосей. А. Фрозлие с соавт. (Frosliet et al., 1984), обнаруживший такую же тенденцию при определении тяжелых металлов в печени лосей, северных и благородных оленей Норвегии, объясняет это особенностями питания копытных. Лишайники - основная пища северного оленя - являются известными накопителями тяжелых металлов (Kubin, 1990). В то же время концентрация меди и цинка в мышечной ткани северных оленей Карелии была в два раза ниже, чем таковая у лосей и бурых медведей (табл. 4).

Не было найдено значимых различий между концентрацией кадмия и свинца во внутренних органах лося и бурого медведя. По-видимому, это объясняется тем, что в Южной Карелии медведь питается в основном растительной пищей (Данилов, Туманов, 1976). Последнее и обуславливает схожие уровни этих тяжелых металлов в печени, почках и мышечной ткани лося и медведя. Возможно также предположить, что растительность зарастающих вырубок - излюбленных кормовых стадий лося (Ивантер, 1974, 1986), содержит повышенный уровень кадмия и свинца из-за интенсивной работы лесозаготовительной техники во время рубок и последующего попадания большого количества этих металлов в почву через выхлопы двигателей.

Ткани белки имели значительно более низкую концентрацию кадмия, чем ткани лося, медведя и оленя. Это, прежде всего, объясняется возрастом исследованных животных, так как выборка по белке была представлена зверьками первого и второго года жизни. При этом печень и почки белок имели значимо более высокую концентрацию свинца по сравнению с другими исследованными видами млекопитающих. Грибы - известные накопители данного металла (Mc Creight, Schroeder, 1977), а также ртути (Волкова, Клементьева, 2002) - являются одним из основных кормовых объектов белки в Карелии (Ивантер, 1974, 1986). Среди исследованных видов тетеревиных органы и ткани рябчика были загрязнены тяжелыми металлами в наибольшей степени, по сравнению с глухарем и тетеревом. По-видимому, эта разница также связана с особенностями пищевого рациона указанных видов. Доля насекомых и пауков в пище рябчика превышает таковую в рационе тетерева и глухара.

Выявленное в ходе исследования присутствие выраженных межвидовых отличий в уровне загрязненности представителей различных видов животных Карелии антропогенными токсикантами свидетельствует, что техногенное загрязнение территории региона уже перешло тот порог, за которым его еще можно было характеризовать как незначительное. На сегодняшний день нужно говорить, как минимум, о среднем уровне загрязненности наземных (лесных) экосистем региона.

3.3. Возможности использования костной ткани и рогов млекопитающих в биоиндикационных исследованиях. Как показали исследования некоторых авторов, для многих микроэлементов (прежде всего это свинец, никель, цинк, отчасти - кадмий) кости скелета животных служат основным депо, которое может содержать до 90% всего имеющегося в организме свинца (Безель, 1987), до 20% цинка (Москалев, 1985). Являясь высокостабильной тканью, которая очень медленно разрушается и не требует специальных условий для хранения, кость позволяет проводить биоиндикационные исследования по изучению ее микроэлементного состава и предоставляет возможность широко использовать коллекционный материал для оценки временных трендов изучаемых элементов.

Лесной северный олень довольно широко распространен в Средней и Северной Карелии, на сегодняшний день размер его популяции оценивается в пределах 3000-3400 животных (Государственный доклад..., 2002; 2003). По сравнению с серединой 90-х годов прошлого века, когда численность оленя оценивали в 4,6 тыс. животных (Государственный доклад..., 1996), его количество значительно сократилось. Лишайники рода *Cladina* и *Cladonia* — основная пища северного оленя в зимний период - известные накопители тяжелых металлов (Kubin, 1990). Все это, а также существующая охота на оленя делают его удобным объектом для биоиндикации присутствия тяжелых металлов в лесных экосистемах региона. Для анализа на содержание кадмия, свинца, меди, никеля, цинка и серы мы использовали рога, кости

череп и зубы от оленей, добытых в феврале – марте с 1986 по 1990 г. в четырех районах Северной Карелии, а также в Архангельской области (район с. Карпогоры). Этот район в связи с удаленностью от возможных источников антропогенного загрязнения был принят за контрольный (рис. 3).

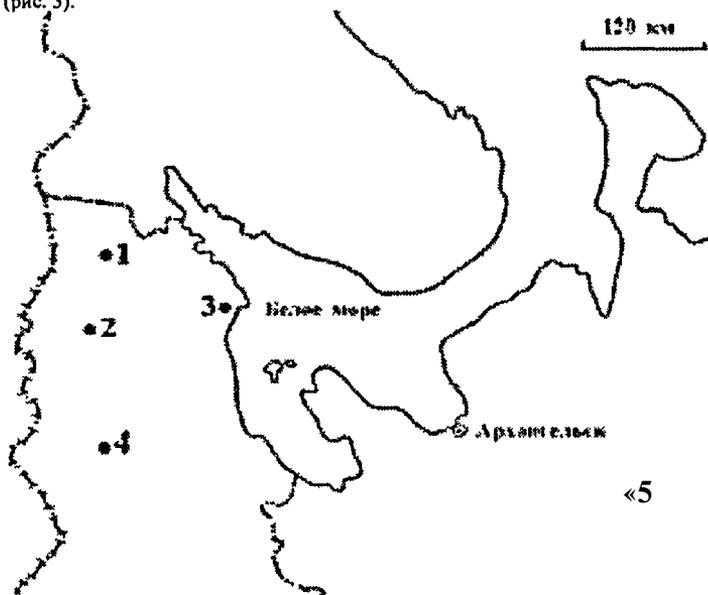


Рис. 3. Места добычи северного оленя:

- 1 - Лоухский район, 2 - Калевальский район, 3 - Кемский район,
4 - Муезерский район, 5 - Архангельская область

Концентрация тяжелых металлов и серы, определенная в рогах, костях черепа и зубах оленей, представлена в табл. 6. Кости имели самую высокую концентрацию кадмия и свинца.

Таблица 6

Концентрация микроэлементов и серы в костной ткани и рогах
лесного северного оленя и лося, мг/кг сухого веса

Ткань(орган)	n	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	S
		$\frac{M \pm m}{\text{min-max}}$	$\frac{M \pm m}{\text{min-max}}$	$\frac{M \pm m}{\text{min-max}}$	$\frac{M \pm m}{\text{min-max}}$	$\frac{M \pm m}{\text{min-max}}$	$\frac{M \pm m}{\text{min-max}}$
Кости (олень)	123	$\frac{2,1 \pm 1,1}{0,5-6,2}$	$\frac{41,6 \pm 23,7}{3,0-146,0}$	$\frac{7,6 \pm 0,55}{4,2-11,1}$	$\frac{183 \pm 8,1}{132-271}$	$\frac{27 \pm 4,2}{9,8-90}$	$\frac{515,3 \pm 140}{178-930}$
Кости (лось)	5	$\frac{1,7 \pm 0,3}{1,2-3,0}$	$\frac{25,0 \pm 7,1}{3,0-48,1}$	$\frac{7,2 \pm 1,55}{4,3-12,9}$	$\frac{142 \pm 38}{132-271}$	$\frac{25 \pm 4,3}{9,8-90}$	Не опр.
Зубы (олень)	119	$\frac{1,9 \pm 0,8}{0,6-4,8}$	$\frac{30,3 \pm 15,7}{2,6-85,0}$	$\frac{4,6 \pm 0,32}{2,4-7,2}$	$\frac{181 \pm 7,2}{140-260}$	$\frac{22 \pm 2,5}{9,5-61}$	Не опр.
Рога (олень)	27	$\frac{1,5 \pm 0,7}{0,8-4,6}$	$\frac{22,4 \pm 10,5}{5,1-65,4}$	$\frac{5,7 \pm 0,6}{4,2-7,2}$	$\frac{165 \pm 19}{111-195}$	$\frac{20 \pm 1,1}{18-22}$	$\frac{524 \pm 244}{288-1472}$

Минимальное количество металлов обнаружено в рогах, а в зубах - средняя концентрация

токсикантов. Концентрация меди, никеля и цинка во внутренних органах и тканях оленей значимых различий не имела. Не было найдено и статистически значимой разницы между уровнем серы в рогах и костях оленей. Более высокая концентрация тяжелых металлов в костях по сравнению с рогами северного оленя можно объяснить относительно коротким периодом роста рогов (около четырех месяцев для самок и примерно пять месяцев для самцов).

Тесная положительная корреляция между концентрацией кадмия и концентрацией свинца нами найдена в рогах, костях черепа и зубах исследованных животных (табл. 7), что указывает на совместное накопление этих токсичных металлов как внутренними органами и тканями лосей, медведей, кабанов, белок (печень, почки, легочная и мышечная ткань), так и скелетом (северный олень).

Таблица 7

Коэффициент корреляции Спирмана между содержанием кадмия и свинца в органах и тканях северного оленя

Ткань	r	p
Рога	0,75	0,0002
Кости	0,82	0,0001
Зубы	0,75	0,0001

Величины концентрации кадмия и свинца, выявленные в зубах и костях черепа оленей, положительно коррелировали друг с другом ($r = 0,42$ для кадмия и $r = 0,41$ для свинца, $p < 0,001$). Это служит еще одним доказательством роли скелета в организме животных как единой камеры-депо для токсикантов.

Наличие более высокой концентрации кадмия и особенно свинца в костях черепа оленей по сравнению с таковой у лосей (такая же тенденция выявлена и для внутренних органов и тканей табл. 4 и 6) является дополнительным аргументом в пользу использования костной ткани (помимо внутренних органов) животных для установления межвидовых различий в степени загрязненности животных тяжелыми металлами.

Локальное загрязнение. Кости оленей, добытых в Карелии, имели более высокую концентрацию свинца и кадмия, по сравнению с оленями, отстрелянными в Архангельской области ($p < 0,01$), но не наблюдалось значимых различий между концентрацией серы и таких микроэлементов, как медь, никель, цинк, концентрация которых находится в нормальных физиологических пределах (Sawicka-Kapusta, 1979), в костях карельских (опыт) и архангельских (контроль) оленей.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что кости оленей, отстрелянных в разных районах Северной Карелии, имели статистически значимую ($p < 0,01$ для кадмия и $p < 0,05$ для свинца) различную концентрацию тяжелых металлов (рис. 4). Популяция лесного северного оленя в Карелии состоит из девяти отдельных субпопуляций-стад (Данилов и др., 1990).

Каждая из них имеет собственный ареал, весьма ограниченный, особенно в зимних условиях. Исследованные северные олени принадлежат к четырем таким стадам - Пяозерскому, Калевальскому, Поньгомо-Куземскому, Лексозерскому, что, возможно, и объясняет различия в концентрации токсикантов. Определение кадмия, цинка и других металлов (Дьяконов и др., 1996) в различных компонентах лесного фитоценоза показало, что на разных пробных площадях колебание уровня этих металлов могло достигать 3-5-кратной величины. Олени из Пяозерского стада имели самую высокую среднюю концентрацию кадмия и свинца в костях черепа (рис 4.). Следует учитывать, что эта субпопуляция обитает в районе, который ближе другим находится к Кольскому полуострову (Мончегорский комбинат). Возможно, географическое положение данной субпопуляции и есть определяющая причина повышенного количества тяжелых металлов в организме оленей.

Концентрация кадмия и свинца в костях оленей, добытых в лесах Карелии, была больше, чем таковая у оленей Архангельской области, отстрелянных в районе, максимально

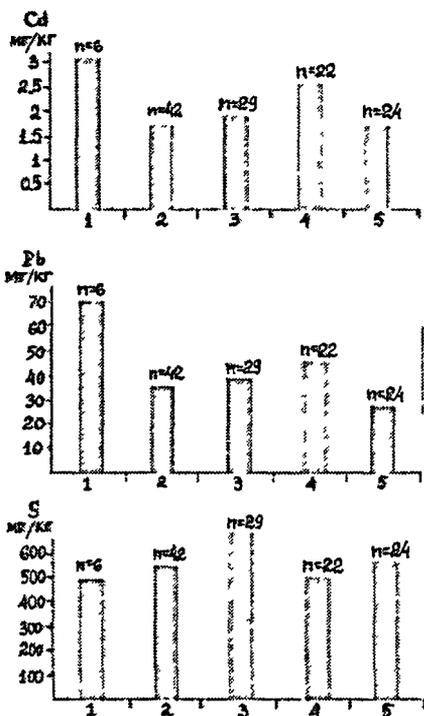


Рис. 4. Средняя концентрация кадмия, свинца, и серы в оленях из разных районов добычи:

1 - Лоухский район; 2 - Калевальский район; 3 - Кемский район; 4 - Муезерский район; 5 - Архангельская область

удаленном от каких-либо источников антропогенного загрязнения атмосферы. Данный факт наряду с присутствием токсикантов во внутренних органах и тканях других видов карельских животных, говорит о присутствии тяжелых металлов в лесных экосистемах запада северной тайги, их активном включении в обмен веществом и энергией, наличии их в биоценозах. Лесные комплексы, расположенные восточнее, в силу своей географической удаленности от крупных источников атмосферного загрязнения испытывают техногенное воздействие в гораздо меньшей степени.

Выводы:

1. Видовая специфика пищевых рационов является основным фактором, определяющим видовые различия накапливаемых уровней токсикантов в тканях и органах животных. Из птиц и млекопитающих Карелии наибольшей опасности воздействия поллютантов подвергаются растительноядные (лось, северный олень, тетеревиные птицы) животные. Именно в организме этих видов обнаружена самая высокая концентрация поллютантов (ртуть, кадмий, свинец). По сравнению с этими видами всеядные животные (кабан) в го-

раздо меньшей степени подвержены риску вследствие антропогенного загрязнения природной среды.

2. У обитателей наземных экосистем, как у птиц, так и у млекопитающих, аккумуляция тяжелых металлов в организме, их распределение по органам и тканям проходят по единым законам: печень, почки и легкие животных являются основными органами-мишенями при техногенном воздействии, тогда как костная ткань играет депонирующую и, до определенной степени, нейтрализующую роль.
3. Установлена гетерогенность популяций млекопитающих Карелии по степени загрязненности ксенобиотиками, накапливаемыми отдельными группировками животных. Пол и возраст - ведущие факторы, обуславливающие внутривидовую гетерогенность.
4. Ни одна из обследованных в Карелии особей из природных популяций птиц и млекопитающих не имела в своих органах и тканях критических (опасных) уровней тяжелых металлов, при которых предполагается негативное воздействие токсиканта на организм, но употребление в пищу мяса некоторых животных, являющихся объектами охоты, прежде всего таких их органов, как почки и печень, может представлять определенную угрозу здоровью человека. Например, для покрытия суточной потребности в белках использование в пищу печени лосося (около 250 г), приведет к поступлению в организм человека такого количества кадмия, которое в пять раз превышает рекомендуемый ВОЗ/ФАО безопасный ежедневный уровень. Употребление же в пищу почек лосося чревато проникновением в организм человека кадмия в количестве, в 20 раз превышающем данные нормы.
5. Установленное в ходе исследования присутствие выраженных межвидовых отличий в уровне загрязненности представителей различных видов животных Карелии антропогенными токсикантами свидетельствует, что техногенное загрязнение территории региона уже перешло тот порог, за которым его еще можно было характеризовать как незначительное. На сегодняшний день нужно говорить о среднем уровне загрязненности наземных (лесных) экосистем региона.

Глава 4. Характер накопления и распределения токсичных веществ в организме морских млекопитающих

Морские млекопитающие удовлетворяют большей части критериев для выбора вида - биоиндикатора загрязнения природной среды токсикантами (Криволуцкий и др., 1983). Но если китообразные из-за особенностей биологии (в частности, ежегодные миграции на большие расстояния), в основном отражают глобальное загрязнение вод Мирового океана и его временные тенденции, то ластоногие чаще используются как индикаторы регионального загрязнения.

Пробы внутренних органов, мышечной ткани, подкожного жира и волосяного покрова тюленей Ладожского озера и Белого моря были добыты от зверей, погибших в рыболовных сетях летом (Ладожское озеро), либо в мережах в зимний период (Белое море). Пробы отбирались на рыбозаводе г. Сортавала и базе гослова рыбы г. Беломорска с 1990 по 2000 гг.

4.1. Особенности распределения тяжелых металлов, селена и хлороорганических соединений в организме МОРСКИХ млекопитающих. Данные о среднем уровне тяжелых металлов, содержащихся в органах и тканях тюленей, обобщены в таблицах 8-10.

РТУТЬ. Ртуть включается в пищевые цепи, увеличивая свою концентрацию на порядок, при переходе на более высокий трофический уровень и в организме ластоногих может достигать значений, в сотни тысяч раз превосходящие таковые в воде. Самая высокая концентрация ртути нами определена в печени нерпы Ладожского озера и Белого моря. Волосяной покров ластоногих тоже содержал значительные количества токсиканта, а минимальный его уровень обнаружен в почках и мышечной ткани (табл. 8-10). Средняя концентрация общей ртути в органах и тканях тюленей свидетельствует о том, что приблизительное соотношение уровня ртути в мышцах, почках и печени ладожской нерпы может быть выражено как 1:2:6, а у нерпы Белого моря - как 1:6:60. Однако работы С. Д. Рена (Wren et al., 1980), выполненные на рыбадных хищниках (выдра и норка) показали, что доля метилртути в печени не превы-

шала 30% от ее общего содержания в органе, что позволило прийти к выводу об активной деметилирующей ртути функции этой важнейшей железы. Почти 100% содержащейся в мозге и в мышцах выдры и норки ртути представлено ее метилированной формой, а в корковом слое почек ее доля составила 62% от ее общего содержания в органе. Следовательно, организм ладожской нерпы содержит не только значительно большее количество обшей ртути по сравнению с нерпой Белого моря, но и доля метилртути у нерпы Ладоги гораздо выше (прежде всего за счет почек и мышечной ткани), чем у беломорской нерпы. Неорганическая ртуть и ее соединения биологически инертны, но при добавке СН₃ группы заметно повышается жирорастворимость и скорость перехода ртути через биомембраны. Именно метилртуть - угроза здоровью животных. Т. о., организм ладожской нерпы по сравнению с нерпой Белого моря подвергается удвоенной опасности негативного воздействия ртути, как за счет ее более высокой концентрации в органах, так и за счет большей доли метилртути. В мышцах одного из самцов ладожской нерпы концентрация ртути достигала очень больших величин - 31,6 мг/кг, что на порядок выше средней концентрации этого токсиканта в мышечной ткани.

Для нерпы Ладожского озера найдены половые и возрастные отличия в степени загрязненности животных ртутью. Концентрация ртути в волосяном покрове ладожской нерпы и в печени нерпы Белого моря также увеличивалась с возрастом животных ($r = 0,52$ и $r = 0,60$ при $p < 0,05$ соответственно). У тюленей в возрасте до пяти лет нет половых различий в аккумуляции ртути печенью. Самки ладожской нерпы достигают половой зрелости в возрасте пяти лет (Филатов, 1990). При первой беременности и родах происходит «сброс» организмом самки ртути, которая посредством кровотока способна проникать через плацентарный барьер в организм щенка. Этим объясняется тот факт, что у самки шестилетнего возраста уровень ртути в печени был на порядок ниже, чем у самок пятилетнего возраста. Однако с увеличением возраста самки вновь накапливают ртуть, но процесс этот идет гораздо медленнее, чем в первые пять лет жизни, т.к. происходит регулярная передача значительного количества ртути из организма самки щенку во время беременности и при родах. Так, например, самка в возрасте более 24 лет имела в печени концентрацию ртути, сопоставимую с таковой у самок-пятiletок. В отличие от самок, накопление ртути в организме самцов происходит гораздо быстрее и в возрасте 13-14 лет может достигать очень больших величин (до 147 и даже до 170 мг/кг).

Интересно, что селен, уровень которого в печени тюленей обоих водоемов очень тесно коррелировал с ртутью, в отличие от вышеупомянутого токсиканта, скорее всего, не способен проникать через плацентарный барьер. Так, шестилетняя самка ладожской нерпы, уже «избавившаяся» от некоторого количества содержащейся в ее организме ртути, передав его в организм щенка, имела концентрацию селена в печени, сопоставимую с таковой в печени нерожавшей пятiletней самки (48,67 и 51,33 мг/кг соответственно; при уровнях ртути 5,40 и 49,90 мг/кг соответственно).

Удалось установить положительную корреляцию между концентрацией ртути в печени и почках тюленей Ладожского озера. Следовательно, возможно предположить наличие в организме канала перераспределения ртути, поступающей с пищей, между органом-накопителем элемента (печень) и органами - фильтраторами (почки). Аналогичная корреляция не была найдена нами для нерпы Белого моря, что можно объяснить незначительной нагрузкой данного токсиканта на организм беломорских тюленей.

Кадмий. В максимальной концентрации кадмий был представлен в волосяном покрове и почках тюленей, мышечная ткань имела его наименьший уровень (табл. 8-10). Для кадмия, как и для ртути, нами была выявлена аккумуляция с возрастом ($r = 0,64$, $p < 0,01$) в печени ладожской нерпы, но половых различий в характере накопления токсиканта обнаружено не было. Для ладожской нерпы была найдена положительная связь между уровнем токсиканта в печени и волосяном покрове ($r = 0,53$, $p < 0,05$), а у нерпы Белого моря - между концентрацией поллютанта в почках и в волосяном покрове ($r = 0,69$, $p < 0,05$).

Свинец. В организме исследованных нами тюленей самая высокая концентрация свинца была найдена в волосяном покрове. В остальных органах и тканях концентрация это-

концентрация тяжелых металлов и селена в печени кольчатой нерпы
Ладожского озера и Белого моря
(мг/кг сырого веса) и значимость различий между ними

таблица 8

Водоем	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Se
	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N
Ладожское оз.	35,39±10,73 0,41-170,6 21	0,31±0,04 0,07-0,57 19	0,70±0,12 0,01-2,44 24	5,07±0,54 1,95-13,7 24	0,45±0,10 0,08-1,99 18	36,47±1,54 19,16-51,0 24	53,61±18,48 3,67-173,33 11
Белое море	4,2±3,18 0,27-45,51 14	0,18±0,02 0,07-0,30 13	0,45±0,03 0,27-0,57 13	6,35±0,68 2,27-10,0 19	0,30±0,03 0,13-0,63 19	35,28±0,87 26,67-43,0 19	23,00±3,53 14,00-42,0 8
Уровень значимости различий	p<0,01	p<0,01	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05

Таблица 9

Концентрация тяжелых металлов в органах и тканях кольчатой нерпы
Ладожского озера и Белого моря
(мг/кг сырого веса) и значимость различий между ними

Водоем	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn
	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N
ПОЧКИ						
Ладожское озеро	6,15±1,23 1,04-13,2 11	0,50±0,12 0,03-1,91 16	0,56±0,09 0,05-1,32 16	3,14±0,27 1,88-5,40 16	0,31±0,05 0,12-0,68 12	20,68±1,75 8,30-32,40 16
Белое море	0,42±0,04 0,19-0,77 14	0,10±0,01 0,05-0,18 14	0,42±0,04 0,12-1,08 20	3,66±0,30 1,70-6,80 20	0,19±0,01 0,10-0,33 20	23,31±1,61 13,80-37,6 20
Уровень значимости различий	p<0,001	p<0,01	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p>0,05
МЫШЦЫ						
Ладожское озеро	3,22±2,05 0,07-31,6 15	0,05±0,01 0,02-0,15 11	0,57±0,06 0,18-1,45 19	2,86±0,26 0,70-4,75 19	0,30±0,04 0,07-0,70 17	35,21±3,19 21,60-87,7 19
Белое море	0,07±0,01 0,01-0,13 14	0,09±0,01 0,02-0,15 14	0,38±0,02 0,20-0,50 14	2,39±0,25 1,50-5,50 14	0,13±0,01 0,01-0,33 14	30,32±1,32 21,75-41,0 14
Уровень значимости различий	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p>0,05	p<0,01	p>0,05

Таблица 10

Концентрация тяжелых металлов в волосяном покрове тюленей
Ладожского озера и Белого моря
(мг/кг сухого веса) и значимость различий между ними

Водоем	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn
	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N	M±m min-max N
Ладожская нерпа	17,49±4,00 4,80-79,5 18	0,96±0,11 0,32-2,00 23	6,34±1,90 0,34-40,0 23	22,5±6,02 4,6-148,4 23	4,11±0,82 0,01-15,0 23	323,84±59,0 110,5-1466 23
Нерпа Белого моря	4,26±0,46 2,50-6,60 9	1,45±0,20 0,70-3,44 15	1,58±0,34 0,36-5,14 15	14,1±2,58 1,05-34,6 15	2,32±0,32 0,66-5,02 15	177,5±11,45 121,3-290 15
Уровень значимости различий	p<0,001	p<0,05	p<0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05
Морской заяц	0,78±0,12	1,3±0,25	1,42±0,46	5,77±2,44	3,11±1,06	146,4±38,1

го элемента была примерно одинаковой (табл. 8-10). Не найдено возрастных и половых отличий в характере накопления металла, за исключением корреляции с возрастом ($r = 0,59$, $p < 0,05$) в печени нерпы Белого моря. Для ладожской нерпы найдена отрицательная связь ($r = -$

0,73, $p < 0,01$) между концентрацией свинца в печени и волосяном покрове, что можно объяснить существованием «механизма очищения» организма животных посредством накопления токсикантов в периодически сменяемых тканях. Этот вопрос более подробно будет рассмотрен далее.

Медь. Этот жизненно важный микроэлемент среди внутренних органов и тканей тюленей в самой высокой концентрации определен в печени, волосяной покров животных также содержал большое количество меди, а минимальное ее значение определено в мышцах. Таким образом, распределение меди в организме морских и наземных млекопитающих совпадало (табл. 4 и табл. 8-10), что доказывает существование единых законов накопления и перераспределения микроэлемента в организме и поддержания гомеостаза. Нами обнаружено возрастное накопление меди в печени ладожской нерпы ($r = 0,44$, $p < 0,05$). Ни у тюленей Белого моря, ни у нерп Ладожского озера количество меди в организме не зависело от половой принадлежности животных.

Никель. Основной путь попадания никеля в организм ластоногих - поступление его с пищей, о чем свидетельствует факт положительной корреляции между концентрацией элемента в почках и мышечной ткани ($r = 0,59$, $p < 0,05$). Во внутренних органах ластоногих количество никеля распределено равномерно, как и у наземных млекопитающих (табл. 8-10). Самая высокая его концентрация нами найдена в волосяном покрове тюленей

Цинк. У млекопитающих - обитателей как водных, так и наземных экосистем - минимальное количество этого элемента содержалось в почках (табл. 4 и табл. 8-10), что подтверждает данные В. С. Безеля (1987) о незначительной доли цинка, экскретируемого из организма с мочой. Количество цинка в организме не зависело ни от пола, ни от возраста животных, а самая высокая его концентрация была найдена в волосяном покрове.

Селен. Среди неметаллических элементов следует особо упомянуть селен. Этот элемент интересен, прежде всего, как антагонист ртути. Присутствие в организме селена, если и не устраняет полностью негативное воздействие ртути, то значительно смягчает его. Однако при избыточном поступлении в организм данный элемент может оказывать отрицательное воздействие, например, снижая успех размножения у водоплавающих птиц (Heinz et al., 1989, 1996).

При статистической обработке наших данных корреляционный анализ показал достоверную зависимость между уровнем селена в печени тюленей обоих водоемов и возрастом животных ($r = 0,92$ - нерпа Ладожского озера и $r = 0,58$ - нерпа Белого моря, $p < 0,01$), а также между концентрациями селена и ртути ($r = 0,62$ - нерпа Ладожского озера и $r = 0,88$ - нерпа Белого моря, $p < 0,05$). Некоторые исследователи (Wagemann et al., 1988) в своих работах установили, что корреляция между ртутью и селеном, характерная для этих двух элементов, обнаруживается только во внутренних органах взрослых особей тюленей, но не была выявлена в печени щенков, еще не перешедших к самостоятельному питанию.

Корреляция между металлами. Токсическое действие загрязнителей окружающей среды на живую природу на тканевом, организменном и популяционном уровнях определяется не только взятыми отдельно кадмием, свинцом или медью, но и комплексом остальных поллютантов, связанных с этими элементами коррелятивными связями.

Коэффициенты корреляции между элементами в исследованных органах и тканях кольчатой нерпы представлены в табл. 11. В органах ладожской нерпы, в отличие от нерпы Белого моря, многие металлы положительно коррелируют друг с другом. Прежде всего обращает на себя внимание положительная связь между двумя наиболее опасными поллютантами - ртутью и кадмием в печени и почках нерпы Ладожского озера. В этих же органах найдена положительная связь между кадмием и цинком. Синергизм, характерный для этих элементов (Гавриленко, Сорокина, 1988), способствует усилению отрицательного воздействия кадмия на организм. Цинк коррелировал и со свинцом в мышцах ладожской нерпы. Из перечисленных органов нерпы Белого моря только в печени тюленей найдена статистически значимая отрицательная связь между цинком и свинцом. Для ластоногих обоих водоемов общей была корреляция между цинком и медью в волосяном покрове животных (табл. 11).

Ранговый коэффициент корреляции между концентрациями металлов в различных тканях кольчатой нерпы

Орган	Нерпа Ладожского озера			Нерпа Белого моря		
	Элементы	r	p	Элементы	r	p
Печень	Hg - Cd	0.74	0.01	Pb - Zn	-0.67	0.02
	Cd - Zn	0.56	0.02	Hg - Cu	0.49	0.09
	Hg - Zn	0.54	0.02			
Почки	Hg - Cd	0.59	0.06	Hg - Cd	-0.50	0.07
	Cd - Ni	0.56	0.03	Hg - Pb	-0.47	0.09
	Hg - Ni	0.75	0.02	Hg - Ni	-0.49	0.07
	Cd - Zn	0.46	0.07			
Мышцы	Pb - Zn	0.58	0.01	Cd - Ni	0.50	0.07
Волосистой покров	Cd - Ni	-0.58	0.01	Cd - Zn	0.50	0.06
	Cu - Zn	0.43	0.04	Cu - Zn	0.55	0.04
	Cd - Cu	0.37	0.08	Cd - Cu	0.64	0.02
	Cu - Pb	0.40	0.06			
	Pb - Ni	0.38	0.08			

В тканях и органах ладожской нерпы корреляционных межэлементных отношений гораздо больше, чем у нерпы Белого моря (табл. 11), что подтверждает вывод А. А. Блэкберна (1996) об увеличении количества значимых корреляционных отношений между содержанием микроэлементов в тканях и органах позвоночных животных с ростом их абсолютного содержания в этих тканях и органах.

Таким образом, у млекопитающих вне зависимости от среды их обитания (наземная, водная) наблюдается одинаковое деление корреляционных отношений между концентрациями элементов в различных органах и тканях на три группы, характеризующих и особенности воздействия загрязнителей как внешних факторов среды на организм как биосистему, и ответные реакции организма как устойчивой саморегулирующейся системы на возмущающие внешние факторы с целью поддержания гомеостаза. Напомним эти группы:

1. Комплексное воздействие токсикантов на организм, в случае с ладожской нерпой синергизм между ртутью, кадмием, никелем и цинком.

2. Ответная, защитная, компенсирующая реакция организма на атомном и молекулярном уровнях (корреляция меди как антагониста с кадмием, ртутью и свинцом).

3. Совместный обмен некоторых микроэлементов в организме, находящийся под контролем эндокринной системы. Прежде всего это такие микроэлементы, как медь и цинк.

Полихлорбифенилы. Полихлорбифенилы (ПХБ) - высоковязкие технические жидкости, которые широко использовались в промышленности. В биологическом отношении ПХБ - одни из самых страшных ядов среди хлорорганических инсектицидов, еще более эффективные, чем ДДТ, и, что самое главное, практически неразрушающиеся.

Средняя концентрация хлорорганических соединений определены нами в подкожном жире (в пересчете на липиды) у самцов и самок кольчатой нерпы Белого моря и Ладожского озера. Для сравнения этих данных с уровнем загрязнения других популяций кольчатой нерпы, обитающих в Восточной Финноскандии, были привлечены данные из работы Костамо и др. (Kostamo et al., 2000) о степени загрязненности кольчатой нерпы оз. Саймаа поллютантами данного класса (табл. 12).

Концентрация хлорорганических соединений в подкожном жире кольчатой нерпы Ладожского озера от 3 до 6 раз превосходят таковые в подкожном жире кольчатой нерпы Белого моря. Организм самцов нерп Ладого содержал более высокий уровень хлорорганических соединений, чем организм самок.

Самки избавляются от липофильных хлорорганических соединений, передавая их во время лактационного периода щенку (Helle, 1985, 1990), перераспределяя, таким образом, нагрузку токсикантов с организменного уровня на популяционный. Поэтому средняя концентрация хлорорганических соединений в подкожном жире у самок выше, чем у самок. При невысокой степени загрязненности нерп Белого моря этими контанминантами нам не удалось выявить каких-либо половых отличий в содержании полихлорбифенилов и Σ ДДТ в сале тюленей, как и аккумуляции этих ксенобиотиков с возрастом. Был установлен факт накопления с возрастом ПХБ ($r = 0,66$, $p < 0,05$) Σ ДДТ $r = 0,82$, $p < 0,05$) в сале кольчатой нерпы Ладожского озера.

В то же время концентрации обеих этих групп углеводов продемонстрировали очень тесную положительную корреляцию друг с другом и у нерпы Ладоги ($r = 0,94$, $p < 0,001$) и у нерпы Белого моря ($r = 0,93$, $p < 0,001$), поэтому закономерен вывод о существовании источника единой природы поступления данных веществ как в Белое море, так и в Ладжское озеро - это целлюлозо-бумажная промышленность.

Самый высокий процент среди обнаруженных нами хлорорганических соединений в сале кольчатых х нерп Ладожского озера и Белого моря приходился на изомеры ПХБ №№ 138 и 153 и на p, p , -ДДЕ. Коэффициенты ПХБ 138/ ПХБ 153 различались у тюленей из разных водоемов. Эти коэффициенты были значимо выше ($p < 0,05$) для проб сала ладожской и беломорской нерп, чем в сале нерпы озера Саймаа (Kostamo et al., 2000). В то же время, в сале пресноводных тюленей преобладали высокохлорированные изомеры ПХБ, в отличие от кольчатой нерпы Белого моря. Эти факты, а также присутствие самых высоких коэффициентов p, p -ДДТ: p, p -ДДЕ в пробах сала ладожской нерпы позволили прийти к выводу об относительно недавнем использовании хлорорганических соединений в бассейне Ладожского озера по сравнению с оз. Саймаа.

Региональный аспект. Непараметрический дисперсионный анализ Краскалла-Уоллиса, выполненный нами для сравнения значимости различий средних концентраций тяжелых металлов в проанализированных органах и тканях ладожской нерпы и нерпы Белого моря, позволил прийти к выводу о том, что концентрация ртути у тюленей Ладожского озера была в несколько раз, а иногда и в несколько десятков раз выше, чем у нерпы Белого моря, практически во всех исследованных органах и тканях животных (табл. 8 - 10). Основная причина - загрязнение экосистемы Ладоги в результате хозяйственной деятельности человека. Помимо ртути, ткани ладожской нерпы содержали и более высокую концентрацию кадмия (в печени и почках), свинца (в мышечной ткани и волосяном покрове), никеля (в почках, мышечной ткани и волосяном покрове) и цинка (в волосяном покрове) по сравнению с тканями нерпы Белого моря. В то же время достоверно более высокая концентрация кадмия была выявлена в мышечной ткани и волосяном покрове нерпы Белого моря. Концентрация меди не имела достоверных различий во всех исследуемых тканях ладожской нерпы и нерпы Белого моря (табл. 8 - 10). Найденные положительные корреляции между Hg, Cd, Pb, Ni и Zn в органах ладожской нерпы и практически отсутствие таковых у нерпы Белого моря свидетельствуют об их антропогенном происхождении.

Уровень ртути в тканях ладожской нерпы (печень, почки, мышцы, волосяной покров) схож с таковым в аналогичных тканях сайменской нерпы (Medvedev et al., 1993), поэтому можно ожидать повышенную смертность щенков ладожской нерпы в первые дни жизни и повышенный процент случаев мертворождений щенков в популяции.

Исследования, выполненные в Финляндии на рубеже 70-х и 80-х двадцатого века по оценке влияния тяжелых металлов на популяцию нерпы оз. Саймаа (Huvaqinen, Sipila, 1984) и наши работы по определению концентрации токсикантов в органах и тканях ладожской нерпы (Ивалтер и др., 1998; Медведев и др., 2003; Medvedev et al., 1997) показали, что концентрация ртути в катальном волосяном покрове новорожденных щенков в несколько раз выше, чем таковая в волосяном покрове секолетков и годовиков. Это обусловлено поступлением

Концентрации ГХБДТХБ и ЗДТ (мг/кг сала) и соотношения ЭДДТШХБ, ПХБ 138 (164): ПХБ 153, р, р'- ДДД- р, р'- ДДЕ, р, р'- ДДТ:
 р, р'-ДЦЕ и изомеров ГХЦГ кТХЦГ (по: Kostamo, Medvedev, Pellinen et al., 2000)

Водосм	ГХБ	ЭПХБ	ΣДДТ	ДДТ/ПХБ	ПХБ138/ПХБ153
оз. Саймаа	0,013 (0,005-0,023)	13,2 (1,2-7,2)	16,6 (1,0-105)	1,23 (0,54-2,62)	0,77 (0,66-0,85)
Ладжское озеро	0,026 (0,008-0,07)	11,8 (4,7-45)	14,3 (5,2-52)	1,24 (0,95-1,25)	0,96 (0,89-1,03)
Белое море	0,017 (0,014-0,03)	2,6 (1,8-4,4)	3,2 (2,1-6,5)	1,22 (0,96-1,49)	0,93 (0,83-1,03)
Водоем	ДДД/ДДЕ	ДДТ/ДДЕ	ΣГХЦГ/ΣГХЦГ	ΣГХЦГ/ΣГХЦГ	ГГХЦГ/ΣГХЦГ
оз. Саймаа	0,031(0,006-0,074)	0,283 (0,052-0,57)	0,386(0,253-0,623)	0,637 (0,308-0,916)	0,148 (0,052-0,344)
Ладжское озеро	0,027 (0,016-0,060)	0,321 (0,21-0,57)	0,476 (0,269-0,676)	0,626 (0,258-1,14)	0,148 (0,057-0,364)
Белое море	0,071 (0,046-0,14)	0,277 (0,14-0,42)	0,695 (0,627-0,814)	0,280 (0,152-0,373)	0,071 (0,061-0,092)

ГХБ = гексахлорбензен; ПХБ = полихлорированные бифенилы; ДДТ = р, р'- ДДТ + р, р'-ДДЕ + р, р'- ДДД

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
 БИБЛИОТЕКА
 С.Петербург
 09 300 лк

значительного количества ртути в организм шенка из организма матери через плацентарный барьер и во время молочного вскармливания. При переходе детенышей нерпы к самостоятельному питанию, концентрация ртути в их наружных покровах резко снижается и вновь начинает расти, начиная со второго года жизни вследствие возрастной аккумуляции металла в организме.

Что касается других элементов (Cd, Pb, Si, Ni, Zn), то их средний уровень у нерпы в Белом море и Ладожском озере не имел ярко выраженных отличий от концентрации в тканях ластоногих из других регионов - Саймаа, Балтика, Каспийское море, Байкал (Нувагинен, Sipila, 1984; Helle, 1980, 1985; Крылов и др., 1990; Руднева, Пронип, 1996). Количество меди и цинка, обнаруженное нами в тюленях Ладожского озера и Белого моря, по-видимому, представляло физиологически нормальный уровень, характерный для ластоногих.

4.2. Специфика питания как фактор, определяющий межвидовые различия в степени загрязнения и в особенностях поступления полдтоагтов в организм. Видовые различия накапливаемого уровня токсикантов в тканях и органах животных, обусловленные в определенной мере видовой спецификой пищевых рационов, тем значительнее, чем больше загрязнение природной среды. Волосной покров морского зайца содержал концентрацию ртути на порядок ниже, чем волосной покров нерпы Белого моря (табл. 10). Питаясь главным образом морскими беспозвоночными, морской заяц занимает более низкий трофический уровень, чем рыбоядная нерпа, поэтому и биологическое концентрирование ртути в его организме происходит в меньшей степени. В то же время уровень кадмия в волосном покрове морского зайца равнялся таковому в волосном покрове нерпы Белого моря и превосходил количество этого металла в волосном покрове ладожской нерпы. Значительную долю в пищевом рационе морского зайца составляют моллюски - известные накопители кадмия, что было доказано при исследовании аккумуляции этого металла в элементах коротких пищевых цепей Антарктиды (McClurg, 1984).

Определенная в организме ладожской нерпы концентрация тяжелых металлов (в первую очередь речь идет о ртути) не может привести к смерти взрослых животных, но может ослабить иммунную систему зверей, делая их организм менее устойчивым к действию различных заболеваний, голода и стресса (Law et al., 1989).

4.3. Динамика концентрации тяжелых металлов в организме ладожской кольчатой нерпы. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях ладожской нерпы отслеживалось с 1990 по 2000 гг. Показатели концентрации тяжелых металлов, определенные в пробах волосного покрова тюленей, отобранные в начале 90-х, были подвергнуты сравнительному анализу с таковыми, найденными в волосном покрове зверей, погибших в 2000 г.

Концентрация как Hg, так и Ni в пробах волосного покрова нерпы, отобранных в 2000 году, была в два раза ниже, чем таковая, определенная в начале 90-х. А именно $7,87 \pm 1,09$ и $17,49 \pm 4,0$ мкг/г, соответственно ($M \pm t$) для ртути и $1,95 \pm 0,31$ и $4,11 \pm 0,82$ мкг/г для никеля. Критерий Краскала-Воллиса показал статистическую достоверность пайдненных различий ($p < 0.01$).

Концентрация свинца в волосном покрове тюленей в 2000 г. осталась практически на уровне начала 90-х гг. и даже незначительно возросла - $8,42 \pm 1,59$ и $6,34 \pm 1,90$ мкг/г соответственно, тогда как содержание кадмия за прошедшие 10 лет уменьшилось в семь раз, т.е. $0,13 \pm 0,04$ и $0,96 \pm 0,11$ мкг/г. Факт столь значительного сокращения за последнее десятилетие содержания в организме ладожской нерпы ртути, кадмия и никеля служит дополнительным подтверждением того, что в случае с экосистемой Ладожского озера в целом и обитающих в озере тюленей в частности на первое место по своей значимости выходит именно антропогенное загрязнение, а не особенности геохимических условий.

Наблюдаемое двукратное уменьшение концентраций Hg и Ni в волосном покрове нерпы и, следовательно, в экосистеме Ладоги в целом, скорее всего, обусловлено сокращением объемов целлюлозно-бумажного производства в бассейне озера, в частности, закрытием в 1988 г. и последующим перепрофилированием целлюлозно-бумажного завода в Приозерске. Резкое снижение концентрации Cd может быть связано с сокращением объемов деятельности

деревообрабатывающих, металлургических и глиноземных производств. Вместе с тем, учитывая длительный период полувыведения из организма тяжелых металлов (например, для кадмия он составляет порядка 25 лет; Москалев, 1985), в популяционном аспекте проблемы следует вести речь не столько об уменьшении концентрации тяжелых металлов в организме ладожской нерпы, сколько о сокращении в популяции доли «пораженных» особей, т.е. тех тюленей, организм которых содержит значительное количество токсикантов. Т. о. уменьшение некоторого «среднего уровня» загрязненности популяции тем или иным ксенобиотиком происходит не столько за счет снижения «индивидуального уровня» загрязненности, присущего каждой из особей, сколько за счет сокращения в популяции доли максимально загрязненных особей.

Сравнение концентрации кадмия в натальном волосяном покрове новорожденных щенков с таковой в волосяном покрове взрослых нерп (отношение 1:3), свидетельствует о продолжении аккумуляции этого металла в озерной биоте. Среди проанализированных в волосяном покрове тюленей металлов только свинец продемонстрировал не уменьшение, а даже некоторое увеличение концентрации. Логично предположить, что подобный тренд обусловлен резким увеличением за последнее десятилетие количества индивидуального автотранспорта и широким использованием этилированных низкокачественных сортов бензина. Кроме того, сравнение уровня свинца в натальном волосяном покрове новорожденных щенков с таковым в волосяном покрове взрослых нерп (отношение 1:30), говорит о том, что темп накопления этого металла в ладожской биоте остается высоким.

Выводы:

1. В современных условиях нагрузка тяжелых металлов (в первую очередь ртути и свинца) на популяцию ладожской кольчатой нерпы весьма значительна. Эти токсиканты являются серьезным лимитирующим фактором для популяции, но на сегодняшний день непосредственной угрозы существованию нерпы в Ладожском озере они пока не представляют.
2. Выявляется гетерогенность популяций морских млекопитающих Карелии по степени загрязненности ксенобиотиками, накапливаемыми отдельными группировками животных. Наибольшей опасностью в результате воздействия антропогенных поллютантов подвергаются беременные самки, т. к. в результате высокой концентрации токсикантов в их организме происходит отравление эмбрионов. Следовательно, наиболее цепная часть популяции оказывается основной мишенью для воздействия токсикантов.
3. Установленное в ходе исследования присутствие выраженных межвидовых отличий в уровне загрязненности морских млекопитающих Карелии антропогенными токсикантами свидетельствует, что техногенное загрязнение региона уже перешло тот порог, за которым его еще можно было характеризовать как незначительное. На сегодняшний день нужно говорить о среднем (Белое море), а в отдельных случаях и о высоком (экосистема Ладожского озера) уровне загрязненности водных экосистем региона.
4. У водных, так же, как и у наземных теплокровных животных Карелии, как у птиц, так и у млекопитающих, т. е. и в экологическом и в систематическом аспектах аккумуляция ксенобиотиков в организме, их распределение по органам и тканям подчиняются единым законам. Основными органами-мишенями для токсикантов у всех исследованных видов животных являются печень и почки вследствие активных процессов аккумуляции в них поллютантов. Костная и жировая ткани служат своего рода депо или тканями-ловушками для таких ксенобиотиков, как свинец, хлорорганические соединения. Переход токсикантов из органов и тканей с высоким уровнем обмена веществ в «ткани-ловушки» позволяет организму до определенного предела снижать стресс токсической нагрузки. Т. о., можно говорить о существовании единой организменной стратегии адаптации популяций птиц и млекопитающих региона к техногенному загрязнению окружающей природной среды.

Глава 5. Вывод токсикантов из организма животных посредством линьки наружных покровов

5.1. Специфика накопления и распределения тяжелых металлов в оперении птиц и волосяном покрове млекопитающих. В разделе подробно анализируются качественные и количественные характеристики процесса экскреции токсикантов из организма посредством периодической смены наружных волосяных покровов. Детально освещается роль линьки в качестве одного из важнейших каналов освобождения организма от ксенобиотиков.

Тетеревиные птицы (рябчик, тетерев, глухарь), являясь строго оседлыми и широко распространенными в условиях Карелии видами (Зимин, Ивантер, 1986; Яблоков, 1987; Зимин и др., 1993), могут служить индикаторами как регионального, так и локального загрязнения. Кроме того, они - популярный объект охоты, что обеспечивает возможность массового сбора материала. Таким образом, тетеревиные птицы удовлетворяют основным критериям, предъявляемым к видам-индикаторам (Криволуцкий и др., 1983). Кроме того, перьевой материал исключительно удобен для сбора, транспортировки и хранения.

Рулевые перья глухарей и рябчиков имели более высокую концентрацию тяжелых металлов, чем маховые. Аналогичную зависимость продемонстрировало распределение элементов в оперении воротничковых рябчиков Канады (Rose, Parker, 1982), куликов-чернозобиков и исландских песочников (Goede, 1986), перьев сорок (Hahn et al., 1989). Объясняется это большим удельным весом стержня (70% веса) в массе маховых перьев по сравнению с рулевыми (35% веса). Как показали результаты проведенного анализа, именно в элементах бороздчатой структуры, т. е. в опахалах сосредоточена основная часть содержащихся в пере металлов.

Уровень тяжелых металлов был определен нами и в волосяном покрове лесного северного оленя (табл. 13). Из данных, приведенных в таблицах 4 и 13, видно, что концентрация кадмия в волосяном покрове и мышечной ткани оленя практически не различаются (0,63 и 0,58 ррт соответственно). В то же время свинец в волосяном покрове присутствовал в значимо больших концентрациях, чем в мышцах (5,40 и 2,14 мкг/г соответственно; $p < 0,001$). Аналогичный характер распределения металлов в оперении и мышечной ткани прослеживался у тетеревиных птиц Карелии. Концентрация всех шести определяемых элементов (Hg, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn) была очень близка и в волосяном покрове оленя, и в оперении рябчика и глухара.

Таблица 13

Концентрация тяжелых металлов
в волосяном покрове лесного северного оленя, мг/кг сухого веса

Параметры	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn
n	19	45	45	19	19	19
M	0,15	0,63	5,40	7,44	0,16	189,6
m	0,02	0,21	0,82	0,55	0,03	48,75
Min	0,08	< 0,01	0,10	0,47	< 0,01	86,00
Max	0,44	8,19	23,7	11,3	0,43	948,0

И млекопитающие (северный олень), и тетеревиные (глухарь, рябчик) - консументы первого порядка, обитатели наземных природных комплексов - имели схожее соотношение токсикантов (кадмий, свинец) в мышечной ткани и роговых покровах, которое выражалось как 1:1 для кадмия и 1:2 для свинца. Двукратное превышение коэффициента концентрирования для свинца в сравнении с кадмием свидетельствует о большей значимости для организма механизма экскреции через роговые покровы именно свинца. У млекопитающих - обитателей водных экосистем (кольчатая нерпа), питающихся животным кормом, т. е. у консументов второго порядка, данный «механизм очищения» приобретает еще более важное значение, причем резко меняются акценты между коэффициентами концентрирования для кадмия 1:20 и свинца 1:11 (ладожская нерпа) и 1:16 и 1:4 соответственно (нерпа Белого моря). Для ртути

эти коэффициенты составляют 1:5 (ладожская нерпа) и 1:60 (нерпа Белого моря). Более высокое значение коэффициентов концентрирования ртути между волосяным покровом нерпы Белого моря и внутренними тканями животных позволяет говорить о наличии определенного предела способностей организма морских млекопитающих «самоочищаться» путем накопления и последующего сброса токсикантов через волосяной покров. При невысоком загрязнении среды (в конкретном случае - Белое море), такой механизм действует достаточно эффективно. При превышении степени загрязненности среды определенных пороговых величин (загрязнение ртутью Ладожского озера), такой механизм уже не в состоянии поддерживать гомеостаз организма животного, начинает давать «сбой» (например, установленный нами факт наличия отрицательной корреляции между концентрацией ртути в печени и в волосяном покрове ладожской нерпы, $r = -0,73$, $p < 0,01$).

5.2. Межвидовые различия в степени загрязненности тетеревиных Карелии. Установлено, что концентрация кадмия и свинца в печени и мышечной ткани рябчика была достоверно выше, чем таковая у глухаря. В оперении рябчика также отмечен более высокий уровень этих элементов (табл. 14 и 15). Таким образом, концентрация тяжелых металлов в оперении

Таблица 14
Концентрация тяжелых металлов в рулевых и маховых перьях рябчика, мг/кг сухого веса

Cd	Pb	Hg	Cu	Ni	Zn
M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
min-max	min-max	min-max	min-max	min-max	min-max
Рулевые перья (n = 20)					
0,93±0,15	4,95±1,09	0,25±0,04	7,53±0,98	0,37±0,07	144±7,1
0,23-2,05	0,01-19,2	0,02-0,41	4,06-24,4	0,11-0,88	53-200
Маховые перья (n = 20)					
0,38±0,08	4,22±0,99	0,13±0,06	13,6±2,65	0,13±0,02	171±14
0,04-1,48	0,40-16,8	0,06-0,20	3,73-37,0	0,04-0,22	117-275

Таблица 15
Концентрация тяжелых металлов в рулевых и маховых перьях глухаря, мг/кг сухого веса

Cd	Pb	Hg	Cu	Ni	Zn
M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
min-max	min-max	min-max	min-max	min-max	min-max
Рулевые перья (n = 32)					
0,46±0,1	4,45±0,59	0,19±0,02	9,24±1,25	0,2±0,03	239±30
0,01-3,12	0,02-3,12	0,01-0,46	4,46-34,7	0,01-1,04	100-971
Маховые перья (n = 26)					
0,21±0,04	2,22±0,33	0,14±0,02	7,76±0,37	0,36±0,05	176±13
0,01-0,72	0,55-6,80	0,04-0,32	4,95-13,7	0,1-0,98	107-462

рени тетеревиных птиц достоверно отражает степень загрязненности их внутренних органов и тканей токсикантами.

Определение концентрации кадмия в печени тетеревиных птиц Швеции (Frank, 1986) показало, что в сравнении с глухарем и тетеревом рябчик загрязнен в наибольшей степени. Аналогичную картину мы наблюдаем и у тетеревиных Карелии. Следовательно, специфика питания определяет не только степень загрязненности тяжелыми металлами внутренних органов и тканей животных, но и концентрация тяжелых металлов в наружных покровах птиц и млекопитающих тем выше, чем выше положение вида в трофической пирамиде.

Региональный аспект. Как показали проведенные исследования, концентрация тяжелых металлов, определенная в наружных покровах животных, может давать более достоверную информацию о локальном или региональном загрязнении природных комплексов, чем таковые, проанализированные во внутренних органах и тканях. Например, определенная

нами концентрация свинца в печени, почках и мышечной ткани ладожской нерпы была в 1,5 раза выше таковой в аналогичных органах нерпы Белого моря, но в волосяном покрове зверей наблюдалось уже четырехкратное превышение содержания токсиканта (табл. 8-10) Концентрация цинка в волосяном покрове ладожской нерпы была достоверно выше, чем в волосяном покрове беломорских тюленей, но во внутренних органах и тканях животных статистически значимой разницы не прослеживалось. Все это позволяет сделать вывод об использовании волосяного покрова зверей как более информативного материала-индикатора загрязнения природной среды и в данном конкретном случае загрязнении Ладожского озера такими металлами как цинк и свинец.

Выводы

1. Как у птиц, так и у млекопитающих вне зависимости от среды обитания (наземная или водная) линька является одним из главных каналов экскреции тяжелых металлов из организма.

2. В субтоксичных условиях среды наружные покровы птиц и зверей зачастую более объективно, чем внутренние органы и ткани отражают как степень загрязненности организма тяжелыми металлами, так и сезонную либо долговременную динамику концентрации поллютантов.

3 Все вышеперечисленное, наряду с такими свойствами наружных покровов гомойотермных животных, как легкость сбора материала, удобство в транспортировке и хранении, а также возможность прижизненного отбора проб, позволяет рекомендовать использование волосяног о покрова зверей и оперения птиц в экотоксикологических исследованиях как исключительно удобный и высокоинформативный материал.

Глава 6. Популяции чайковых Карелии в условиях глобального загрязнения биосферы хлорорганическими соединениями

6.1 Закономерности биологического концентрирования хлорорганических соединений в организме теплокровных животных В этом разделе анализируются особенности накопления токсикантов данного класса в организме животных, занимающих различные трофические уровни. Подробно освещается специфика негативного воздействия хлорорганических соединений на теплокровных животных.

6.2 Степень и характер загрязненности чайковых Карелии некоторыми высокомолекулярными поллютантами Для определения степени загрязненности карельской орнитофауны хлорорганическими соединениями, а также возможного отрицательного влияния этих токсикантов на птиц был произведен сбор яиц широко распространенных и массовых видов чайковых Карелии (серебристая, сизая и озерная чайки и речная крачка) Для сравнения с этими аквальными видами были исследованы яйца серой вороны. Согласно перемещениям исследованных видов за пределы региона в зимний период их можно классифицировать как оседлые (ворона), мигрирующие в пределах Балтики (чайки) и мигрирующие на большие расстояния (речная крачка - Южная Африка, Зимин, Ивантер, 1986; Зимин и др., 1993)

Средняя концентрация ДДЕ и линдана (табл. 16) определена в яйцах перечисленных Таблица 16

Концентрация хлорорганических соединений в яйцах пяти видов птиц из Южной Карелии, мг/кг сырого веса

Вид	рр' - ДДЕ			Линдан		
	N	M±m	min-max	N	M±m	min-max
Серебристая чайка	14	0,204±0,031	0,042-0,393	14	0,019±0,003	0,003-0,046
Сизая чайка	13	0,118±0,024	0,018-0,370	13	0,020±0,005	0,003-0,060
Озерная чайка	3	0,070±0,003	0,060-0,070	3	0,007±0,001	0,005-0,009
Речная крачка	17	0,119±0,011	0,060-0,230	17	0,022±0,002	0,010-0,014
Серая ворона	5	0,041±0,010	0,020-0,084	5	0,005±0,001	0,002-0,008

птиц. Однофакторный дисперсионный анализ и метод множественного сравнения Шеффе показали статистическую значимость различий в концентрациях токсикантов в яйцах исследованных видов птиц ($F = 5,33$ для ДДЕ и $F = 2,7$ для линдана; $df_1 = 4$, $df_2 = 47$).

Различия между уровнями ДДЕ были достоверны для всех видов, за исключением сизой чайки и речной крачки, а для линдана значимые различия в концентрациях наблюдались между двумя группами: 1- серебристая, сизая чайки и речная крачка и 2 - озерная чайка, серая ворона.

Яйца серебристой чайки содержали максимальную концентрацию ДДЕ - 0,204 мг/кг. Яйца серой вороны и озерной чайки имели минимальный уровень этого токсиканта - 0,04 и 0,07 мг/кг соответственно. По степени загрязненности яиц сизой чайки и речной крачки ДДЕ, эти виды пернатых находились на средней позиции.

За исключением яиц озерной чайки, для всех остальных видов обнаружена положительная корреляция между концентрацией ДДЕ и линдана. В то же время не было найдено отрицательной связи между уровнями токсикантов и толщиной скорлупы яиц исследованных видов. Данный факт свидетельствует об отсутствии в современных условиях однозначного и ярко выраженного негативного влияния этих соединений на успех размножения чайковых Карелии.

Концентрация ДДЕ и линдана в яйцах речной крачки Карелии была близка к таковой в яйцах того же вида, добытых на немецком побережье Северного моря в 1987 г. (0,4 мг/кг для ДДТ и 0,018 мг/кг для линдана; Becker, 1989), а также к концентрации этих же поллютантов в яйцах речной крачки в Италии (0,79 мг/кг для ДДЕ; Fasola et al., 1987).

Загрязнение ДДЕ яиц озерной чайки в Карелии ниже, чем таковое в Мекленбурге (0,07 и 0,59 мг/кг соответственно; Holz, Starke, 1990). Однако концентрация линдана в яйцах этого вида из Карелии была больше аналогичной в яйцах озерной чайки из Чехословакии (0,007 и 0,001 мг/кг соответственно; Pellantova et al., 1989).

Установленный нами факт наличия хлорорганических соединений в яйцах птиц в низкой концентрации, отсутствие доказательства их влияния на толщину скорлупы яиц и относительно стабильное состояние популяций исследованных видов свидетельствуют об отсутствии выраженного отрицательного воздействия хлорорганических соединений на чайковых Карелии.

Вероятнее всего, отрицательный эффект загрязнения природной среды хлорорганическими соединениями сказывался на птицах Фенноскандии в течение 70-х годов прошлого столетия, когда уровень загрязнения яиц был выше критического (Koivusaari et al., 1980; Paasivirta et al., 1981; Linden et al., 1984; Karlin et al., 1985).

Выводы:

1. Загрязненность популяций широко распространенных и многочисленных видов птиц Карелии хлорорганическими соединениями является дополнительным свидетельством глобальности процесса антропогенного загрязнения биосферы. Наличие этих токсинов у видов, питающихся исключительно (крачка) или преимущественно (чайки) в водной среде, а также в наземных биосистемах (ворона) служит доказательством широкого распространения поллютантов данного класса как в наземных, так и в водных экосистемах.
2. Сопряженное варьирование концентрации ДДЕ и линдана в содержимом яиц, характерное для большинства исследованных видов птиц Карелии, служит еще одним доказательством не только глобального процесса антропогенного загрязнения биосферы, но и всеобщности характера его протекания в различных географических регионах.
3. Собственное сельское хозяйство республики, даже во времена своего максимального развития (70-е и 80-е гг. прошлого века), никогда не являлось ведущей отраслью народного хозяйства и в силу уже одного этого факта не могло быть основным источником повсеместного загрязнения природных комплексов региона хлорорганическими токсикантами. Районы зимовки исследованных видов чайковых - потенциальные источники загрязненности их популяций этими токсикантами.

4. Даже при низких уровнях хлорорганических соединений, представленных в популяциях исследованных видов птиц Карелии, найдены достоверные различия в степени загрязненности у разных видов и это еще раз неоспоримо подтверждает, что у теплокровных животных, как у птиц, так и у млекопитающих и вне зависимости от среды обитания (наземная или водная) особенности питания являются основным фактором, определяющим межвидовые различия в содержании ксенобиотиков в организме.
5. «Сброс» птицами до половины количества хлорорганических соединений, содержащихся в организме самки, в откладываемые яйца является одним из механизмов перераспределения токсичной нагрузки с организменного уровня на популяционный, что позволяет организму птиц до определенного предела поддерживать свой гомеостаз.

Глава 7. Популяции мелких млекопитающих в условиях техногенного влияния на природные комплексы северной тайги

Весторонний контроль за качеством природной среды включает как необходимый элемент оценку техногенного загрязнения отдельных компонентов наземных экосистем, в том числе и подвижных консументов. Применение мелких млекопитающих для целей биомониторинга антропогенных загрязнений весьма перспективно. Биологические особенности *Micromammalia* (широкое распространение, высокое видовое разнообразие, интенсивный обмен веществ, значительная удельная биомасса, экстенсивный тип освоения территории и ресурсов) вполне соответствуют требованиям мониторинга загрязнений на значительных пространствах независимо от степени их экологической гетерогенности.

Рассматриваемый в качестве объекта мониторинга уровень токсических элементов в организме мышевидных грызунов характеризует не только состояние природных популяций животных, но и одновременно является интегральным показателем меры загрязнения природной среды, прежде всего растительных объектов, токсическими элементами. С другой стороны, сложная экологическая структура популяций мелких млекопитающих требует решения вопроса о влиянии разнообразных популяционных и экологических факторов на накопление поллютантов в организмах животных и возможных последствиях этих процессов для популяции и экосистемы в целом (Безель и др., 1984).

7.1. Влияние техногенных эмиссий на ПОПУЛЯЦИИ мелких млекопитающих. Крупнейшим поставщиком в атмосферу диоксида серы на территории Карелии является Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК), на долю которого приходится 1/3 от общих выбросов SO₂ или 60 тыс. т/год и порядка 5 тыс. т/год техногенной пыли, содержащей тяжелые металлы (Лазарева и др., 1992). В 1992-93 гг. методом ловушко-линий проводился отлов двух наиболее массовых видов грызунов Костомукшского заповедника с различным типом питания - рыжей полевки (смешанный тип питания) и темной полевки (типичный зеленояд). Отловы проводили на четырех пробных площадях, три из которых расположены в северной части заповедника, подверженной эпизодическому воздействию выбросов комбината. Четвертая площадь в южной части заповедника, удаленная на 30 км от источника загрязнения, была принята за контроль.

У проанализированных животных не было выявлено половозрастных отличий в характере накопления металлов. Концентрации микроэлементов, найденные в печени рыжей и темной полевок, не имели статистически значимых различий. В нашем исследовании результаты как однофакторного, так и непараметрического дисперсионного анализов не показали статистически достоверных отличий в концентрации проанализированных элементов в организме зверьков, добытых в разных частях (северная и южная) и на разных участках заповедника ($p=0,08-0,58$). Следовательно, в органах и тканях мышевидных грызунов, обитающих на территории заповедника, не происходит аккумуляции металлов, поступающих в лесные экосистемы вследствие техногенных эмиссий комбината.

Как было установлено ранее (Катаев, 1988), имеющийся потенциал размножения у грызунов, обитающих на загрязненной территории, не реализуется в полной мере по причине высокой эмбриональной смертности и сокращения количества выводков за репродуктивный

сезон. У самок рыжей полевки (как у перезимовавших особей, так и у сеголетков 1-й генерации), добытых на различных участках Костомукшского заповедника, наблюдали резкое (в 1,5-2 раза) повышение эмбриональной смертности в 1993 г. по сравнению с предыдущим годом. А у зверьков, отловленных на площади у оз. Каменное, которая благодаря существующей розе ветров находится в непосредственной зоне воздействия аэротехногенных выбросов ГОКа, амплитуда колебаний эмбриональной смертности была в 3-4 раза больше чем на других, менее загрязненных участках (табл. 17).

Таблица 17

Средняя доля резорбции эмбрионов (%) у прибылых самок рыжей полевки (сеголетки первой генерации)

Площадка	Год	n	M	m	σ
Феномаршрут	1992	6	12,96	6,38	15,64
	1993	4	18,18	2,73	5,45
оз. Каливо	1992	33	18,74	2,99	17,15
	1993	12	25,61	6,97	24,14
Мунанкярви	1992	14	18,78	5,11	19,11
	1993	9	23,34	7,48	22,44
оз.Каменное	1992	8	13,79	2,04	5,76
	1993	7	38,43	9,37	24,78

Одной из отличительных особенностей мелких млекопитающих тайги являются их асинхронные, периодичные и закономерные смены подъемов и депрессий численности (Ивантер, 1976), обусловленные, в первую очередь, увеличением эмбриональной смертности. В то же время, 3-4 кратное увеличение этого популяционного показателя у полевок с площади «оз. Каменное» от 1992 к 1993 году, по сравнению со зверьками, отловленными на других площадях нельзя объяснить одними лишь природными закономерностями. Например, увеличение эмбриональной смертности в тот же период времени на трех других пробных площадях как у перезимовавших полевок, так и у сеголетков первой генерации колебалось в пределах от 1,2 до 1,9 раз.

Регулярно проводимые исследования на полигоне интегрированного мониторинга «Камалакти», расположение которого практически совпадает с пробной площадью «оз. Каменное», показали, что средняя концентрация окислов азота и серы в атмосферных осадках, выпадавших на этом участке в 1993 году в 2-3 раза превосходила среднегодовой показатель (Интегрированный 1998). У самок красно-серой полевки, обитавших в зоне сильного загрязнения, снижалась плодовитость (повышалась эмбриональная смертность на станциях в четырех и восемнадцати километрах от источника техногенных загрязнений, где она составляла 36,8% и 17,2%, соответственно, в то время как в зоне слабой загрязненности этот показатель у полевок находился в пределах 3,8 - 8,4%; Катаев, 1988). Т.о., прослеживается связь между популяционными, морфофизиологическими и цитогенетическими параметрами мелких млекопитающих, с одной стороны, и различными уровнями загрязнения среды обитания этих животных с другой.

На основе полученных нами результатов, можно сделать вывод об отсутствии аккумуляции тяжелых металлов в организме полевок и, как следствие, их негативного влияния на мышевидных грызунов Костомукшского заповедника. В то же время, повышенная эмбриональная смертность у зверьков, обитающих в его северной (опытной) части свидетельствует о том, что аэротехногенные выбросы ГОКа являются лимитирующим фактором для популяций *Micromammalia*, обитающих в северной части заповедника, что, возможно, обусловлено воздействием окислов азота и серы, содержащихся в эмиссиях комбината. Т.о., нами установлено, что популяционные реакции мелких млекопитающих оказались, в данном случае, гораздо более точным индикатором техногенного влияния на природные комплексы северной тайги, чем прямое определение содержания токсикантов в организме зверьков.

7.2. Мелкие млекопитающие как индикаторы воздействия крупного локального источника загрязнения на окружающие природные комплексы. В Петрозаводске сосредоточены практически все виды промышленного производства: машиностроение и металлообработка, стройиндустрия, переработка древесины, легкая, пищевая и полиграфическая промышленность.

Крупнейшей официальной свалкой Петрозаводска (исключая несанкционированные) является Полигон твердых бытовых отходов (ТБО), размещенный в 6 километрах к югу от микрорайона «Ключевая» в истоках реки Нелукса, стоки которой попадают в акваторию Онежского озера, непосредственно примыкающую к Петрозаводской губе – основному источнику питьевой воды для города.

Полигон, расположенный среди сохранившегося массива коренных и условно-коренных хвойных лесов, практически не затронутых сплошными концентрированными рубками, ежемесячно принимает 40000 м³ городского мусора.

Для выяснения характера и степени влияния полигона ТБО на население мелких млекопитающих был организован отлов зверьков давилками Геро по стандартной методике на двух пробных площадках, одна из которых находилась в сосняке багульниковом, расположенном в 300 метрах к северу от полигона, а вторая – в ельнике черничном свежем, находящемся в 200 метрах восточнее полигона. Относительная численность и биотопическое распределение мелких млекопитающих по материалам учетов, выполненных в прилегающих к полигону ТБО лесах в октябре 2001 г. представлены в таблице 18.

Проведенные осенью 2001 года учеты выявили высокий индекс видового разнообразия в населении мелких млекопитающих в исследованных типах леса. В частности, поимка красной полевки – редкого вида, являющегося сибирским фаунистическим элементом, указывает на высокую степень стабильности населения *Micromammalia* (Курхинен, Кутенков, 2001), а также – на высокую степень «ненарушенности» лесных комплексов, поскольку красная полевка является одним из стенотопных видов мелких млекопитающих, который в условиях Карелии селится исключительно в лесных биотопах, незатронутых масштабными рубками, предпочитая ельники-зеленомошники (Ивантер, 1975).

Таблица 18

Численность (экз. на 100 ловушко/суток) и биотопическое распределение *Micromammalia* по материалам учетов в октябре 2001 г.

Вид	Относительная численность	Ельник черничный свежий	Сосняк багульниковый
Бурузубка обыкновенная	2,22	1,78	0,44
Рыжая полевка	6,67	5,78	0,89
Красная полевка	0,44	0,44	-
Всего	9,33	8,0	1,33

Еще одним из весьма информативных показателей стабильности группировок мелких млекопитающих является индекс Паркера – Бергера, используемый для оценки степени доминирования наиболее многочисленного вида P_{max}/N , где P_{max} – показатель обилия вида-доминанта и N – суммарное обилие всех видов (Мау, 1975). Для мелких млекопитающих, обитающих в окружающих полигон ТБО лесах, данный показатель составил 0,67 для сосняка багульникового и 0,72 для ельника черничного свежего, а в среднем для всей территории он равняется 0,71. Т. о., значение индекса доминирования в сообществах *Micromammalia* этого района хоть и уступает аналогичному для лесов заповедника «Кивач», где все виды рубок были прекращены полвека назад (Курхинен, Кутенков, 2001), но практически равняется ин-

дексу Паркера - Бергера, рассчитанному для териокомплексов насекомыхных и мышевидных грызунов, населяющих крупные (20-30 га) участки сосновых лесов (там же). Следовательно, биоценологические группировки мелких млекопитающих исследованной территории отличаются высокой степенью стабильности.

Основываясь на вышеприведенных данных можно сделать вывод об отсутствии выраженного негативного влияния Петрозаводского полигона ТБО на мелких млекопитающих окружающих лесных комплексов как на один из компонентов лесных экосистем. В то же время, хочется особо подчеркнуть, что в данном случае речь идет даже не о лесных экосистемах в целом, но лишь об одной из их составляющих.

Выводы:

1. Влияние антропогенного загрязнения на популяции изученных видов мелких млекопитающих вызывает, прежде всего, снижение их репродуктивных функций в основном за счет увеличения эмбриональной смертности.

2. Определенное значение имеет также угнетение иммунной системы и общее снижение сопротивляемости организма. Кроме того, очевидную роль играют и внутрипопуляционные, в т. ч. адаптивные механизмы в популяциях. Отсюда значимость комплексного подхода при оценке влияния токсикантов на популяции мелких млекопитающих, т. е. параллельного использования целого ряда показателей, таких как показатели эмбриональной смертности, оценка степени доминирования наиболее многочисленного вида как показатель стабильности териокомплексов мелких млекопитающих, показатели обилия численности и биотопического распределения и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог выполненной работе следует признать тот факт, что на рубеже двадцатого и двадцать первого столетия техногенное загрязнение природной среды по силе своего влияния на популяции птиц и млекопитающих Карелии выходит в один ряд с такими традиционными видами антропогенного воздействия на животных, как охота, влияние лесосекплуатации, мелиорация земель.

Неоднозначность и крайняя гетерогенность этого влияния обуславливаются не столько характером самого загрязнения (разная степень загрязнения отдельных территорий региона, различные временные периоды воздействия, неодинаковый качественный спектр токсикантов, стохастичность их распределения как в абиотической среде, так и в популяциях животных), сколько реакциями биосистем на данный фактор на различных иерархических уровнях: организменном, популяционном, ценологическом. Наличие целого ряда адаптивных механизмов на каждом из этих уровней позволяет популяциям млекопитающих и птиц в значительной степени компенсировать это негативное влияние, что помогает им сравнительно быстро и с минимальными потерями адаптироваться к новым экологическим условиям.

Установленная в ходе проведенных исследований гетерогенность популяций птиц и млекопитающих Карелии по степени загрязненности их ксенобиотиками, накапливаемыми различными субпопуляционными группами, объясняется, прежде всего, спецификой экологии выделяемых эколого-функциональных группировок. Следовательно, выявленные закономерности носят общий характер и должны учитываться при экстраполяции процессов обмена токсичных веществ с организменного уровня на популяционный.

Другой важный аспект результатов нашего исследования - на примере изучения влияния техногенного загрязнения на популяции млекопитающих и птиц подтверждена универсальность, многофункциональность общеэкологических законов уже не только в рамках аут- и синэкологии, биоценологии, но и в сфере действия популяционной экотоксикологии.

Выявленная в ходе исследований гетерогенность популяций птиц и млекопитающих Карелии по степени толерантности к тому или иному типу техногенного загрязнения подтверждает перспективность нового направления в экотоксикологии, использующего спектр се мощных и точных методических средств в собственно популяционных исследованиях,

при которых сами токсиканты (их качественный состав, наличие отсутствие корреляционных связей, относительные токсические эквиваленты) используются в качестве биомаркеров принадлежности особей к той или иной популяции, субпопуляции либо эколого-функциональной группировке.

ВЫВОДЫ

1. В итоге исследований установлен средний уровень загрязненности техногенными токсикантами организма птиц и млекопитающих Карелии из их природных популяций. Однако, в ряде случаев (кольчатая нерпа Ладожского озера) этот уровень приближается к критическому, который, с учетом нарастающего влияния антропогенного фактора, в частности, техногенного загрязнения природной среды, может стать фатальным.
2. Выявляется гетерогенность изученных популяций млекопитающих и птиц по степени загрязненности ксенобиотиками, накапливаемыми отдельными группировками животных. Наибольшей опасности в результате воздействия антропогенных поллютантов подвергаются эмбрионы беременных самок, представляющих наиболее ценную часть популяции и одновременно - основную мишень для воздействия токсикантов.
3. Видовая специфика питания - главный фактор, определяющий видовые различия в накоплении токсикантов в тканях и органах птиц и млекопитающих. Отсюда наибольшей опасности воздействия поллютантов подвергаются растительноядные (лось, северный олень) и рыбоядные (кольчатая нерпа, речная крачка) животные. В организме этих видов обнаружена самая высокая концентрация ртути, кадмия, свинца, хлорорганических соединений.
4. Из-за длительного периода полувыведения большинства токсикантов из организма снижение среднего уровня загрязненности популяции происходит не столько за счет уменьшения индивидуальных уровней загрязнения, сколько за счет уменьшения доли «пораженных» особей в популяции, т. е. доли животных, концентрация токсикантов в организме которых превышает некоторый критический уровень. Под критическим уровнем понимается концентрация токсиканта в организме или его система, достижение или превышение которой означает наличие признаков токсического действия.
5. Как у водных, так и у наземных животных Карелии, относящихся к различным экологическим и систематическим группам, аккумуляция ксенобиотиков и их распределение по органам и тканям подчиняются единым законам. Основными органами-мишенями для токсикантов у всех исследованных видов животных являются печень и почки вследствие активных процессов аккумуляции в них поллютантов. Костная и жировая ткани служат своего рода депо или тканями-ловушками для таких ксенобиотиков, как свинец, хлорорганические соединения. Переход токсикантов из органов и тканей с высоким уровнем обмена веществ в «ткани-ловушки» позволяет организму до определенного предела снижать стресс токсической нагрузки. Т. о., можно говорить о существовании единой организменной стратегии адаптации популяций птиц и млекопитающих региона к техногенному загрязнению окружающей природной среды.
6. Употребление в пищу мяса некоторых животных Карелии, являющихся объектами охоты, прежде всего таких их органов, как почки и печень, может представлять определенную опасность для здоровья человека. Например, по нашим подсчетам потребление в пищу около 250 г печени лоса приводит к поступлению в организм человека 0,32 мг кадмия, что в пять раз превышает рекомендуемый ВОЗ/ФАО безопасный ежедневный уровень. Употребление же в пищу почек лоса чревато проникновением в организм человека кадмия в количестве, в 20 раз превышающем данные нормы.
7. Установлено, что техногенное загрязнение территории региона уже перешло тот порог, за которым его еще можно было характеризовать как незначительное. В современных условиях приходится говорить о среднем, а в отдельных случаях и о высоком (например, экосистема Ладожского озера) уровне загрязненности экосистем изученного региона.

8. Как у птиц, так и у млекопитающих, и вне зависимости от среды обитания (наземная или водная) линька является одним из главных каналов экскреции тяжелых металлов из организма, при этом наружные покровы птиц и зверей зачастую наиболее объективно, по сравнению с внутренними органами, отражают как степень загрязненности организма тяжелыми металлами, так и сезонную либо долговременную динамику концентрации токсикантов.
9. Влияние антропогенного загрязнения на популяции изученных видов мелких млекопитающих вызывает, прежде всего, снижение их репродуктивных функций в основном за счет увеличения эмбриональной смертности. Определенное значение имеет также угнетение иммунной системы и общее снижение сопротивляемости организма. Кроме того, очевидную роль играют и внутривидовые, в т. ч. адаптивные механизмы в популяциях. Отсюда значимость комплексного подхода при оценке влияния токсикантов на популяции млекопитающих и птиц.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор глубоко благодарен сотрудникам Института леса Карельского НЦ РАН, Петрозаводского государственного университета, Гос. НИИ охраны природы Арктики и Севера, творческое и заинтересованное участие которых способствовало завершению настоящей работы.

Неоценимую помощь в сборе экспериментального материала, послужившего основой для написания данной работы, оказали В. И. Богданов, М. А. Терехов, А. Н. Тетеревлев, В. С. Никитин, М. Т. Макарова, С. А. Поздняков, Е. С. Шулика, В. Н. Игнатъев, С. Ю. Орлов, Ю. Чистов, Т. Сибиля, Й. Коскела, О. Стенманн, Б. Вестерлинг, М. Куннасранта, М. В. Веревкин, А. А. Николаевский, ряд районных охотников и инспекторов.

Особую благодарность хочется адресовать Н. А. Папичеву, А. А. Лукину, Л. В. Марковой, Х. Хювяринену, А. Костамо, сотрудникам аналитической лаборатории Института леса Карельского НЦ РАН, как за непосредственное выполнение химических анализов, так и за организационную помощь в проведении такого рода работ.

Хочется выразить свою признательность А. А. Аристову, О. Стенману и В. А. Марковскому за большую методическую и практическую помощь при определении возраста у особей кольчатой нерпы и северного оленя. Большое содействие в математической обработке результатов оказал профессор ПетрГУ, доктор биологических наук А. В. Коросов.

Автор глубоко признателен П. И. Данилову, Н. В. Лапшину, В. В. Белкину, В. Г. Анненкову, В. Б. Зимину, Л. В. Блюднику за наставническую и консультативную помощь, как при планировании, так и выполнении данного исследования.

А. Н. Ермолиным была разработана и предоставлена в распоряжение автора компьютерная программа, которая значительно ускорила и упростила процесс анализа литературных источников. В процессе оформления рукописи большую помощь оказала Е. Р. Эртте. Автор высоко оценивает их содействие и поддержку.

Автор глубоко благодарен член-корреспонденту РАН, доктору биологических наук, профессору Петрозаводского университета Эрнесту Викторовичу Ивантеру за постоянную консультативную помощь в процессе работы над диссертацией.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Медведев Н. В. Концентрации ртути, свинца и кадмия в печени и почках лосей из некоторых районов южной Карелии // Актуальные проблемы биологии и рациональное природопользование. Петрозаводск, 1990. С. 68-69.
2. Медведев Н. В. Лесные охотничье-промысловые животные как индикаторы загрязнения лесных экосистем тяжелыми металлами // Зооиндикация и экотоксикология животных в условиях техногенного ландшафта. Днепропетровск, 1993. С. 150.

3. Sipila T., Medvedev N., Hyvarinen H. The ringed seal of lake Ladoga // First International Lake Ladoga Symposium, St.Petersburg, Russia, 1993. P. 203.
4. Medvedev N., Panichev N., Hyvarinen H. Environmental toxicants in the Ladoga ringed seal // First International Lake Ladoga Symp. St. Petersburg, 1993. P. 39.
5. Medvedev N., Markova L. Residues of chlorinated pesticides in the eggs of Karelian birds, 1989-90 // Environ. Pollut 1995. 87. P. 65-70.
6. Medvedev N. Concentrations of cadmium, lead and sulphur in tissues of wild, forest reindeer from north-west Russia // Environ. Pollut 1995. 90. P. 1-5.
7. Медведев Н. В. Ладожская кольчатая нерпа как индикатор состояния озерной экосистемы // Крупные озера Европы - Ладожское и Онежское. Петрозаводск, 1996а. С. 151-153.
8. Медведев Н. В. Охотничье-промысловые животные Карелии в системе контроля качества природной среды региона // 50 лет Карельскому научному центру Российской академии наук. Петрозаводск, 1996б. С. 179-181.
9. Medvedev N., Sipila T. Hyvarinen H. Kunnasranta M. Proposals for the protection of Ladoga seal // Second International Lake Ladoga Symposium, Joensuu 1996. P. 302.
10. Sipila T., Medvedev N.V., Hyvarinen H. The Ladoga seal (*Phoca hispida ladogensis* Nordq.) // Hydrobiologia. 1996. 322. P. 193-198.
11. Medvedev N., Panichev N., Hyvarinen H. Levels of heavy metals in seals of Lake Ladoga and the White Sea // Sci. Total Environ. 1997. 206. P. 95-105.
12. Medvedev N., Panichev N. Levels of Heavy Metals in Game Animals of North-West Russia // The 43rd International Conference on Analytical Sciences and Spectroscopy, Montreal, Canada, 1997, P. 39.
13. Kostamo A. Medvedev N. Hyvarinen H. Kukkonen J. Analysis of chlorinated hydrocarbons in three different subspecies of ringed seal // SETAC-Europe 8th Annual Meeting, Bordeaux, France 14-18 April 1998, P. 172.
14. Ивантер Э. В., Медведев Н. В., Паничев Н. А. Содержание тяжелых металлов в организме ладожской кольчатой нерпы // Экология, 1998. № 2. С. 116-120.
15. Медведев Н.В. Птицы и млекопитающие Карелии как биоиндикаторы химических загрязнений. Петрозаводск, 1998. 135 с.
16. Медведев Н. В. Ластоногие как биоиндикаторы антропогенных нагрузок на экосистемы Белого моря и Ладожского озера // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия. Апатиты, 1998а. С. 83-84.
17. Медведев Н. В. Состояние популяций морских млекопитающих Карелии // Динамика популяций охотничьих животных северной Европы. Петрозаводск, 1998б. С. 79-81.
18. Медведев Н. В. Мониторинг тяжелых металлов в органах охотничье-промысловых животных // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия. Апатиты, 1998в. С. 208-209.
19. Медведев Н. В., Поздняков С. А. Оценка воздействия атмосферных выбросов Костомукшского горно-обогатительного комбината на население мелких млекопитающих северной тайги // Экология таежных лесов. Сыктывкар, 1998. С. 150-151.
20. Медведев Н. В. Тетеревиные птицы как биоиндикаторы техногенной нагрузки на лесные экосистемы Карелии // Экология таежных лесов. Сыктывкар, 1998. С. 149.
21. Медведев Н. В. Механизмы поддержания гомеостаза организмом теплокровных животных в условиях техногенного загрязнения природной среды // Роль девственной биоты в

- современных условиях глобальных изменений окружающей среды. Биотическая регуляция. Петрозаводск, 1998. С. 96-98.
22. Medvedev N. Levels of heavy metals in Karelian wildlife 1989-91 // Environmental Monitoring and Assessment, 56, 1999. P. 177-193.
 23. Sipila T., Medvedev N., Kunnasranta M., Hyvarinen H. Protection proposals to Ladoga ringed seal // Third International Lake Ladoga Symposium. Petrozavodsk, 1999. P. 53.
 24. Medvedev N., Sipila T., Hyvarinen H., Kunnasranta M. Present status of Ladoga ringed seal population // Third International Lake Ladoga Symposium. Petrozavodsk, 1999. P. 17.
 25. Kostamo A., Medvedev N., Pellinen J. et al. Analysis of organochlorine compounds and extractable organic halogen in three subspecies of ringed seal from Northeast Europe // Environ. Toxicol. and Chemistry. 2000. 19. № 4. P. 848-854.
 26. Медведев Н. В., Сипила Т., Куннасранта М. и др. Ладожская нерпа // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории Заонежского полуострова и Северного Приладожья. Петрозаводск, 2000а. С. 325-332.
 27. Медведев Н. В., Сипила Т., Хювяринен Х. и др. Современное состояние популяции ладожской кольчатой нерпы // Сохранение биологического разнообразия Фенноскандии. Петрозаводск, 2000б. С. 69-70.
 28. Sipila T., Medvedev N.V. Laatokan norppa, Luonto, kulttuuriperinto ja aluekehitys // Pohjois-Laatokan lahialueyhteistyöseminaari Sortavalassa ja Lahdenpohjan VStikassa. Sortavala, 2000. P. 14-15.
 29. Sipila T., Medvedev N.V. Kunnasranta M. et al. Present status and recommended conservation actions for the Ladoga seal (*Phoca hispida ladogensis*) population // Biodiversity and conservation of boreal nature. Kuhmo, Finland, 16-19.10.2000. P. 43.
 30. Медведев Н. В., Поздняков С. А. Мелкие млекопитающие как индикаторы техногенного влияния на природные комплексы северной тайги // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск, 2001. С. 246-255.
 31. Medvedev N., Sipila T., Panichev N. et al. Metals in Ladoga's ringed seals as indicators of the state of ecosystem in the Russian Lake of Ladoga // Environmental and Health Aspects of Mining, Refining and Related Industries. Skukuza, Kruger National Park, South Africa 14 to 18 July 2001. P. 59.
 32. Медведев Н. В. Химическое загрязнение птиц и млекопитающих // Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2000 году. Петрозаводск, 2001. С. 122-124.
 33. Медведев Н. В. Комплексная оценка загрязненности природной среды с использованием теплокровных животных в качестве биоиндикаторов // Тез. докл. юбилейной науч. конф., посвященной 275-летию РАН. Петрозаводск, 2001а. С. 88-89.
 34. Медведев Н. В. Охотничье-промысловые животные как биоиндикаторы техногенного загрязнения лесных экосистем // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. Тез. докл. Сыктывкар, 2001б. С. 126-127.
 35. Медведев Н. В., Коросов А.В. Оценка накопления кадмия в популяции лосей Карелии с помощью имитационного моделирования // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. Тез. докл. Сыктывкар, 2001в. С. 127-128.
 36. Медведев Н. В. Морские млекопитающие как биоиндикаторы антропогенных нагрузок на прибрежные экосистемы Белого моря и Ладожского озера // Биологические основы устойчивого развития прибрежных морских экосистем. Апатиты 2001. С. 151-152.

37. Sipila T., Medvedev N.V., Kunnasranta M. et al. Present status and recommended conservation actions for the Ladoga seal (*Phoca hispida ladogensis*) population. Lappeenranta. 2002.29 pp.
38. Медведев Н. В., Сипиля Т., Куннасранта М. И др. Современное состояние и рекомендуемые меры по охране популяции ладожской кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) // Вторая международная конференция «Морские млекопитающие Голарктики» Байкал, 10-15 сентября 2002 г. Тез. докл. М. 2002. С. 177-178.
39. Медведев Н. В. Загрязненность тяжелыми металлами организмов тетеревиных птиц Карелии // Ин-т леса Кар. НЦ РАН. Петрозаводск, 2003а. 17 с. Библиогр.: 34 назв. Рус. Деп. В ВИНИТИ 19.09.03, № 1700 - В2003.
40. Медведев Н. В. Накопление тяжелых металлов в организмах охотничье-промысловых животных на северо-западе России // Ин-т леса Кар. НЦ РАН. Петрозаводск, 2003б. 26 с. ил. Библиогр.: 38 назв. Рус. Деп. В ВИНИТИ 19.09.03, № 1701 - В2003.
41. Медведев Н. В., Сипиля Т., Паничев Н.А. и др. Динамика концентраций тяжелых металлов в органах и тканях ладожской кольчатой нерпы с 1990 по 2000 гг. // Динамика популяций охотничьих животных Северной Европы. Петрозаводск 2003. С. 130-134.

15 567



ООО «Скандинавия» 2004 г.