



В книге рассматриваются проблемы трансформации наземных экосистем северо-запада Кольского полуострова под влиянием деятельности человека. В ней представлены результаты многолетних мониторинговых исследований и международных проектов по оценке влияния медно-никелевого производства на окружающую территорию в районе промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» ОАО «Кольская ГМК». Основное внимание уделяется характеристике современного состояния различных компонентов наземных экосистем, анализу происходящих в них изменений. Обсуждаются перспективы дальнейших научных исследований и инициативные проекты в области рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Книга подготовлена по материалам докладов участников круглого стола «Экологический мониторинг состояния окружающей среды в районах воздействия крупных промышленных предприятий. Передовой опыт. Новые подходы и методы оценки состояния» Международной научно-практической конференции «Экология, эволюция и систематика животных» (Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 15 ноября 2012 г.). Она предназначена для зоологов, экологов, географов, сотрудников особо охраняемых природных территорий, специалистов по охране природы, аспирантов и студентов.

The land ecosystem transformations caused by human activity in the north-west of Kola Peninsula are reviewed. The book presents the results of long-term monitoring research as well as results of international projects on assessment *Nickel* and *Zapolyarny* copper-nickel industrial emission impact on the environment. The major attention is paid to the current state of and changes in various land ecosystem components. Possible aspects of further research on appropriate nature management are also discussed.

The book is based on the reports made by the participants of round table titled: «*Environment Monitoring in the Areas Influenced by Big Industrial Plants' Activity. Best Practices*» («Animal Ecology, Evolution, and Systematic» International Conference, Ryazan State University named after S.Esenin, November, 15, 2012). It's intended for zoologists, ecologists, geographers, nature reserve staff, nature conservation experts, postgraduates and students.

Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы



Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
Государственный природный заповедник «Пасвик»
Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН
ОАО «Кольская ГМК»
Московский государственный областной университет

Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы

Рязань
НП «Голос губернии»
2012

ББК 28.081
К 62

Авторы: Ананьева С.И., Белова Е.А., Булычев А.Г., Булычева И.А., Заколдаева А.А., Зацаринный И.В., Исаева Л.Г., Косякова А.Ю., Ларькова М.С., Лукина Н.В., Мерщев А.В., Поликарпова Н.В., Трущицына О.С., Собчук И.С., Сухарева Т.А., Хлебосолова О.А.

К 62 **Кольская горно-металлургическая компания
(промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»):
влияние на наземные экосистемы /**

Под общ. ред. О.А. Хлебосоловой. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. 92 с.

ISBN 978-5-98436-029-6

В книге рассматриваются проблемы трансформации наземных экосистем северо-запада Кольского полуострова под влиянием деятельности человека. В ней представлены результаты многолетних мониторинговых исследований и международных проектов по оценке влияния медно-никелевого производства на окружающую территорию в районе промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» ОАО «Кольская ГМК». Основное внимание уделяется характеристике современного состояния различных компонентов наземных экосистем, анализу происходящих в них изменений. Обсуждаются перспективы дальнейших научных исследований и инициативные проекты в области рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Книга подготовлена по материалам докладов участников круглого стола «Экологический мониторинг состояния окружающей среды в районах воздействия крупных промышленных предприятий. Передовой опыт. Новые подходы и методы оценки состояния» Международной научно-практической конференции «Экология, эволюция и систематика животных» (Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 15 ноября 2012 г.). Она предназначена для зоологов, экологов, географов, сотрудников особо охраняемых природных территорий, специалистов по охране природы, аспирантов и студентов.

Рецензенты:

Маслобоев В.А., доктор техн. наук, директор Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН,

Егоренков Л.И., доктор геогр. наук, профессор кафедры общей физической географии и охраны природы Московского государственного областного университета,

Лобов И.В., канд. биол. наук, доцент кафедры биологии и методики ее преподавания Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина

ББК 28.081

ISBN 978-5-98436-029-6

© Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 2012
© Государственный природный заповедник «Пасвик», 2012
© Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, 2012
© ОАО «Кольская ГМК», 2012
© Московский государственный областной университет, 2012
© НП «Голос губернии», 2012
© Авторы, текст, 2012

Содержание

Введение	9
Глава 1. Медно-никелевое производство	11
на северо-западе Кольского полуострова: история и современное состояние <i>(М.С. Ларькова, О.А. Хлебосолова)</i>	
1.1. Северо-запад Кольского полуострова до открытия месторождений:	11
особенности антропогенной трансформации	
1.2. Открытие месторождений и начало разработок	12
медно-никелевых руд (1920–1930-е гг.)	
1.3. Функционирование рудников в военное время (1939–1944 гг.)	13
1.4. Геологоразведочные работы в послевоенный период	14
1.5. «Пик» медно-никелевого производства (1970-е гг.)	16
1.6. Современный этап развития медно-никелевого производства	18
(после 1991 г.)	
Глава 2. Состояние наземных экосистем	21
в районе медно-никелевого производства на северо-западе Кольского полуострова	
2.1. Состояние наземных экосистем приграничных территорий:	21
обзор материалов «Пасвик-программы» (2003–2006 гг.) и доклада «Беллоны» (2010 г.) <i>(О.А. Хлебосолова, М.С. Ларькова)</i>	
2.2. Исследование состояния наземных экосистем по программам	25
ИППЭС КНЦ РАН <i>(Л.Г. Исаева, Т.А. Сухарева)</i>	
2.2.1. Влияние атмосферного промышленного загрязнения на элементный состав растительности	
2.2.2. Влияние атмосферного промышленного загрязнения на элементный состав ягод дикорастущих кустарничков	
Глава 3. Системный экологический мониторинг состояния	37
наземных экосистем: методы и результаты исследований (2007–2012 гг.)	
3.1. Модель системного экологического мониторинга,	37
объекты и методы исследований <i>(О.А. Хлебосолова, Н.В. Поликарпова, И.В. Зацаринный)</i>	
3.2. Оценка состояния наземных экосистем по данным биологического	47
мониторинга (на примере воробьинообразных птиц) <i>(И.В. Зацаринный, А.А. Заколдаева, И.С. Собчук, И.А. Булычева, А.Ю. Косякова)</i>	
3.3. Оценка состояния наземных экосистем по данным биологического	52
мониторинга (на примере жужелиц) <i>(О.С. Трушицына, С.И. Ананьева)</i>	

3.4. Тенденции изменения структуры многовидового сообщества муравьев (А.В. Мерциев)	59
3.5. Изучение таксономической структуры населения паукообразных-герпетобионтов (А.Г. Булычев)	62
3.6. Оценка состояния наземных экосистем по данным ландшафтных исследований (М.С. Ларькова)	65
Глава 4. Перспективные направления научных исследований и инициативные проекты	71
4.1. Восстановление растительности на техногенных пустошах вблизи комбината (Л.Г. Исаева, Е.А. Белова)	71
4.2. Наблюдение и оценка состояния лесных экосистем в государственном природном заповеднике «Пасвик» (Н.В. Поликарпова, Л.Г. Исаева, Н.В. Лукина)	78
4.3. Проекты и инициативы ОАО «Кольский ГМК» в области рационального природопользования и охраны окружающей среды (ОАО «Кольская ГМК»)	83
Summary	88

Ryazan State University named after S. Esenin
«Pasvik» State Nature Reserve
Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences
Kola Mining and Metallurgical Company
Moscow State Regional University

Kola Mining and Metallurgical Company («Nickel» and «Zapolyarny» industrial sites): The Impact on the Land Ecosystems

Ryazan
«Golos Gubernii» Publishers
2012

K 62

Ananyeva, S.I., Belova, E.A., Bulyichev, A.G., Bulyicheva, I.A., Zakoldayeva, A.A., Zatsarinnyi, I., Isaeva, L.G., Kosyakova, A.Y., Larkova, M.S., Lukina, N.V., Merschiev, A.V., Polikarpova, N.V., Trushitsina, O.S., Sobchuk, I.S., Sukhareva, T.A., Khlebosolova, O.A.

**K 62 Kola Mining and Metallurgical Company
(«Nickel» и «Zapolyarny» industrial sites):
The Impact on the Land Ecosystems.** / O.A. Khlebosolova (Ed.).
Ryazan: «Golos Gubernii» Publishers, 2012. 92 pp.

ISBN 978-5-98436-029-6

The land ecosystem transformations caused by human activity in the north-west of Kola Peninsula are reviewed. The book presents the results of long-term monitoring research as well as results of international projects on assessment *Nickel* and *Zapolyarny* copper-nickel industrial emission impact on the environment. The major attention is paid to the current state of and changes in various land ecosystem components. Possible aspects of further research on appropriate nature management are also discussed.

The book is based on the reports made by the participants of round table titled: «*Environment Monitoring in the Areas Influenced by Big Industrial Plants' Activity. Best Practices*» («Animal Ecology, Evolution, and Systematic» International Conference, Ryazan State University named after S.Esenin, November, 15, 2012). It's intended for zoologists, ecologists, geographers, nature reserve staff, nature conservation experts, postgraduates and students.

Reviewed by:

Masloboev, V.A., Doctor of Engineering, Head of Institute of North Industrial Ecology Problems.

Prof. Egorenkov, L.I., Moscow State Regional University.

Lobov, I.V., Doctor of Biology, Ryazan State University named after S.Esenin.

LBC 28.081

© Ryazan State University named after S.Esenin, 2012

© «Pasvik» State Nature Reserve, 2012

© Institute of North Industrial Ecology Problems, Russian Acad. of Sci., 2012

© Kola Mining and Metallurgical Company, 2012

© Moscow State Regional University, 2012

© «Golos Gubernii» Publishers, 2012

© Authors, text, 2012

ISBN 978-5-98436-027-2

Contents

Introduction	9
Chapter 1. Copper-nickel production in the north-west of Kola Peninsula: history and current state	11
<i>(M.S. Larkova, O.A. Khlebosolova)</i>	
1.1. The north-west of Kola Peninsula before the fields were discovered: the peculiarities of anthropogenous transformation	11
1.2. Discovery of the deposits and the beginning of copper-nickel ore mining (1920–1930s)	12
1.3. Functioning of mines in the war time (1939–1944)	13
1.4. Geological prospecting in the postwar period	14
1.5. «The peak» of copper-nickel production (1970s)	16
1.6. The modern stage of copper-nickel production (after 1991)	18
Chapter 2. Observation of the state of land ecosystems in the area of copper-nickel production in the north-west of Kola Peninsula	21
<i>(O.A. Khlebosolova, M.S. Larkova)</i>	
2.1. The state of land ecosystems on near-border territories: the review of «Pasvik» (2003–2006) data and the report «Bellona» (2010)	21
<i>(O.A. Khlebosolova, M.S. Larkova)</i>	
2.2. Observation of land ecosystem state within the Institute of North Industrial Ecology Problems, KSC RAS programs	25
<i>(L.G. Isaeva, T.A. Sukhareva)</i>	
2.2.1. The influence of atmospheric industrial pollution on the elemental structure of vegetation	
2.2.2. The influence of atmospheric industrial pollution on the elemental structure of wild shrubs' berries	
Chapter 3. System ecological monitoring of land ecosystem state: methods and research results (2007–2012)	37
<i>(O.A. Khlebosolova, N.V. Polikarpova, I.V. Zatsarinny)</i>	
3.1. The model of system ecological monitoring, objects and methods of research	37
<i>(O.A. Khlebosolova, N.V. Polikarpova, I.V. Zatsarinny)</i>	
3.2. Evaluation of land ecosystems according to the biological monitoring data (through the example of Passeriformes)	47
<i>(I.V. Zatsarinny, A.A. Zakoldayeva, I.S. Sobchuk, I.A. Bulyicheva, A.Y. Kosyakova)</i>	
3.3. Evaluation of land ecosystems according to the biological monitoring data (through the example of Carabidae)	52
<i>(O.S. Trushitsina, S.I. Ananyeva)</i>	
3.4. The profiles of structure changing within the multispecies ant communities	59
<i>(A.V. Merschiev)</i>	

3.5. Observation of taxonomic structure of araneidan-herpetobions population (<i>A.G. Bulyichev</i>)	.62
3.6. Evaluation of land ecosystems according to the landscape research data (<i>M.S. Larkova</i>)	.65
Chapter 4. Upcoming trends of research and other environmental initiatives	.71
4.1. Rehabilitation of vegetation on the wastelands in the vicinity of an industrial plant (<i>L.G. Isaeva, E.A. Belova</i>)	.71
4.2. Observation and evaluation of wooded ecosystems' state in «Pasvik» State Nature Reserve (<i>N.V. Polikarpova, L.G. Isaeva, N.V. Lukina</i>)	.78
4.3. Projects and enterprises of «Kola MSC» in the sphere of efficient nature management and environment protection (<i>«Kola MSC» staff</i>)	.83
Summary	.88

Введение

Производственная деятельность человека сопровождается значительной трансформацией природных экосистем, степень которой зависит от характера антропогенного воздействия, устойчивости экосистем и других факторов. Выявление современного состояния экосистем и прогнозирование их дальнейшего развития представляют собой особую область научных исследований, имеющих важное прикладное значение. Сказанное в полной мере относится к исследованиям, направленным на изучение влияния медно-никелевого производства на наземные экосистемы.

Современное медно-никелевое производство характеризуется большим выходом промышленных отходов на единицу продукции. Наиболее сильное негативное влияние медно-никелевых предприятий на наземные экосистемы связано с выбросами диоксида серы (SO_2) и тяжелых металлов (Ni, Cu). Экологическая оценка состояния наземных экосистем в районе действия медно-никелевого производства традиционно осуществляется на основе изучения состояния атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, поверхностных горизонтов почвы, индикаторных групп растений и животных. Комплексное применение методов позволяет оценить влияние основных факторов, определить степень загрязнения территории, провести ее зонирование. В настоящее время разрабатываются новые модели экологического мониторинга, основанные на изучении структуры экосистем, характера взаимодействия составляющих элементов и эволюции их во времени. Они позволяют дать взвешенную оценку степени и характера воздействия производства, выявить динамические тенденции.

Перечисленные выше методы изучения состояния наземных экосистем были апробированы в рамках международных проектов и научных исследований в районе действия Кольской горно-металлургической компании (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»). Исследования проводились в 2002–2012 гг. и охватывали обширную и разнообразную по природным условиям территорию северо-запада Кольского полуострова от побережья Баренцева моря на севере до заповедника «Пасвик» на юге, от границ России с Норвегией и Финляндией на западе до окрестностей п. Печенга на востоке. В пределах этой территории расположены населенные пункты, дороги, промышленные площадки Кольской горно-металлургической компании, а также объекты, построенные для обеспечения ее работы (Каскад Пазских ГЭС и др.).

Целью написания данной книги стало обобщение результатов научных исследований, посвященных изучению динамики наземных экосистем в районе действия медно-никелевых предприятий ОАО «Кольская ГМК». В ней представлена информация об истории открытия и разработки медно-никелевых месторождений на северо-западе Кольского полуострова, основных этапах антропогенной трансформации наземных экосистем, дан краткий обзор результатов современных исследований, в том числе впервые представлены материалы по результатам многолетнего экологического мониторинга состояния наземных экосистем на примере модельных видов беспозвоночных и позвоночных животных. В книге обсуждаются перспективные направления многолетних мониторинговых исследований, инициативные проекты в области рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Книга подготовлена группой авторов, которые представляют различные организации и учреждения, проводивших мониторинговые исследования на протяжении

последних десяти лет. Авторы признательны всем коллегам, участвовавшим в этой работе и предоставившим архивные и другие материалы. Особую благодарность авторы выражают ОАО «Кольская ГМК» за информационную поддержку и предоставленные фотоматериалы, Ю.А. Кушель за подготовку рукописи к печати, генеральному директору некоммерческого партнерства по реализации государственной информационной политики «Голос губернии» Н.А. Рябко за помощь в ее издании.

Надеемся, что издание книги обеспечит доступ общественности и всех заинтересованных лиц к результатам научных исследований, будет способствовать развитию экологической прозрачности и экологической ответственности ведущих отечественных компаний, занимающихся добычей и переработкой минеральных ресурсов в России.

1.1. Северо-запад Кольского полуострова до открытия месторождений: особенности антропогенной трансформации

Территория северо-запада Кольского полуострова с давних времен была населена людьми, занимавшимися различными видами хозяйственной деятельности. Предполагают, что первые люди пришли на север Фенноскандии в четвертом тысячелетии до нашей эры, а в 1500–1000 гг. до н.э. произошло отделение протосаамов от единой общности финно-угорского народа (Печенга, 2005). В это время обособившиеся саамы заселили междуречье Паза и Печенги, вели активную хозяйственную деятельность, в результате которой начался процесс антропогенной трансформации естественных экосистем.

Ученые-историки и краеведы описывают хозяйственную деятельность саамов как полукоचेвого народа: с марта по сентябрь саамы жили у самого нижнего порога реки Паз в летнем погосте (сейчас на этом месте расположен поселок Борисоглебский) и занимались рыбной ловлей в море; с ноября по февраль саамы жили в зимнем погосте и занимались разведением оленей, вырубкой и вывозом леса, транспортировку которого они осуществляли путем сплава по реке (Лопари и их предания, 1889; Игнатов, 1896; Ламартийер, 1911; Львов, 1916) (рис. 1.1). В межсезонье саамы отправлялись вверх по рекам и озерам с целью промысла речной рыбы. Следует отметить, что хозяйственная деятельность саамов была приурочена, главным образом, к нижним частям речных бассейнов Паза и Печенги, следовательно, антропогенная нагрузка на территорию распределялась на этом этапе хозяйственного освоения неравномерно.

До середины XVI века саамы были язычниками: в материалах экспедиции В.Ю. Визе (1910–1911 гг.) описаны сейды (священные камни) в долине Паза (Визе, 1912). В середине XVI века преподобный Трифон обратил их в православие и основал в Печенге самый северный

в России монастырь. В списках Книги Большому Чертежу есть упоминание погоста Бориса и Глеба, расположенного на левом берегу реки Паз в 20 км от моря (Книга Большому Чертежу, 1950). Данное упоминание связано с тем, что в 1565 г. возле летнего Пазрецкого погоста преподобным Трифоном была построена церковь святых Бориса и Глеба (Краткое историческое..., 1896; Терехихин, 2010). Кроме распространения религии, монастырь выполнял промышленную, торговую и морскую функции (Семенкович, 1894). Основными видами деятельности монахов были рыбные промыслы и вывоз рыбных продуктов, распашка долинных земель, рубка леса, солеварение и дубильное производство (Богуслав, 1862; Фрис, 1885). Местное население ловило бобров, в устьях рек охотилось на выдр и тюленей, собирало жемчужные раковины (в небольшом количестве и низкого качества) (Рейнеке, 1830; Сидоров, 1866). Постепенный рост населения северной части междуречья Паза и Печенги привел к увеличению антропогенной нагрузки на отдельные компоненты экосистем: увеличилась площадь лесов, где производились выборочные рубки и началась распашка земель.

Колонизация европейцами северо-запада Кольского полуострова в XIX веке проходила при активном участии разных народов: русские, финны и норвежцы селились по берегам озер и рек, занимаясь рыбной ловлей, охотой, заготовкой древесины, подсобным хозяйством. В связи с этим обозначился конфликт природопользования между отдельными группами населения. В заливе Варангер происходил раздел между российскими и норвежскими рыбопромышленниками (Север России, 1820). В среднем и верхнем течении рек европейцы активно охотились на оленей, которых разводили саамы, и других промысловых животных, тем самым лишая саамов возможности платить дань (Чулков, 1901).

В середине XIX века рубка и заготовка леса приобрели промышленный масштаб: в долине реки Паз появился лесопильный завод. В связи с развитием лесной про-



Рис. 1.1. Водопад на реке Шоунийоки, вблизи которого располагался зимний Пазрецкий погост (фото М.С. Ларьковой).

мышленности в регионе стремительно увеличивалась доля нарушенных лесов. По отзыву Гаммерфестского губернатора (1868 г.) на рассматриваемой территории активно развивалось скотоводство. Кроме того, норвежцы осушали болота и превращали их в огороды (Север России, 1820). Нарушение естественного напочвенного покрова и структуры почвы, искусственное изменение гидрологических условий приводило к значительной трансформации коренных экосистем.

Начался рост площади поселений: в устье Паза на норвежской стороне была возведена кирка и подсобные сооружения, увеличивалось число домов для проживания постоянного населения; на российской стороне строились становища, где в летние месяцы жили рыбопромышленники. Жилые постройки стали более фундаментальными. Так у саамов вместо традиционных вежей – бревенчатых построек в форме четырех- или шестигранной усеченной пирамиды, покрытых оленьими шкурами, тканью, корой, хворостом и дерном, стали появляться тупы (пырты). Они представляли собой срубную постройку с одним–двумя небольшими окнами и плоской, покрытой землей и дерном, крышей.

Таким образом, к началу XX века междуречье Паза и Печенги стало местом активной хозяйственной деятельности и конкурентной борьбы разных народов (саамов, русских, норвежцев, финнов), осваивающих богатые природные ресурсы этого края. К негативным

последствиям хозяйственного освоения территории до начала разработок здесь медно-никелевых месторождений следует отнести уже имевшую место трансформацию естественных экосистем и появление геоэкологических проблем, таких как сокращение биологического разнообразия, деградация почв, обезлесение территории (Ларькова, Хлебосолова, 2012).

1.2. Открытие месторождений и начало разработок медно-никелевых руд (1920–1930-е гг.)

Никеленосные породы в Печенге впервые обнаружил русский геолог С.А. Конради в 1912 году. По заданию Российского геологического комитета он проводил поиски возможного продолжения на территории северо-запада Кольского полуострова зюдварангерской железнорудной формации, которая, как им было установлено, прерывалась вдоль пограничной реки Паз (Медно-никелевые..., 1999).

Несмотря на удаленность и трансарктическое положение эта территория уже тогда представляла стратегический интерес для стран-соседей благодаря незамерзающему порту. В октябре 1920 года по Тартускому мирному договору по окончании первой советско-финской войны (1918–1920 гг.) РСФСР уступила область Петсамо Финляндии. В 1921 году Геологическая комиссия Финляндии снарядила экспедицию с целью поиска желез-

ных руд. Один из ее участников, студент-стажер Хуто Тёрнгвист, у ручья Котсельйоки (у подножия г. Котсельваара) выявил сульфидную медно-никелевую минерализацию (Медно-никелевые..., 1999; Печенга, 2005). Это событие определило горнодобывающее направление развития региона, сохраняющееся и в настоящее время.

В течение 1922–1934 гг. геологической службой Финляндии были проведены обширные поиски и разведка медно-никелевых месторождений с применением геофизических и буровых работ, в ходе которых были открыты и предварительно разведаны месторождения Каула, Каммикиви и Ортоайви в западной части горной гряды Печенгской тундры и ряд рудопроявлений в восточной (Ваугунен, 1938). Первоначально открытое рудопроявление было признано неперспективным.

Активное экономическое развитие территории началось с 1930-х гг. В 1931 году завершилось строительство так называемой «арктической дороги» – участка дороги от Ивало до порта Лиинахамари, которая связала аннексированную территорию с основной сетью дорог Финляндии. В 1934 г. Интернациональной никелевой компании «Инко» была продана лицензия сроком на 20 лет на разведанные медно-никелевые месторождения и всю рудоносную полосу. В течение трех лет компания проводила детальную разведку месторождения Каула до глубины 250 м, где были обнаружены запасы медно-никелевых руд в количестве 6088 тыс. тонн со средним содержанием в них никеля 3,86% и меди 1,82% (Медно-никелевые..., 1999; Раутио, 2004).

Для обеспечения добывающего производства на сырьевой базе месторождения Каула в 1937–1940 гг. был построен подземный рудник, металлургический завод, сопутствующая инфраструктура, в том числе поселок Колосйоки (современный поселок Никель) (Медно-никелевые..., 1999; Печенга, 2005). Первоначально плавильный цех завода перерабатывал руды местного происхождения с высоким содержанием цветных металлов и выпускал фанштейн для дальнейшей переработки его в Германии.

Таким образом, начало разработки месторождений сопровождалось значительной трансформацией территории, связанной со строительством рудника, дорог и другой инфраструктуры (Ларькова, 2012).

1.3. Функционирование рудников в военное время (1939–1944 гг.)

Период с 1939–1945 гг. характеризуется двумя военными конфликтами на рассматриваемой территории: советско-финская война (ноябрь 1939 – март 1940 гг.)

и боевые действия во время второй мировой войны (июнь 1941 – октябрь 1944 гг.).

В ходе советско-финской войны область Петсамо (ныне Печенгский район Мурманской области) была оккупирована советскими войсками, но возвращена Финляндии по условиям Московского мирного договора весны 1940 года. Прерванное строительство возобновилось, и первые поставки никелевого сырья были отправлены в Киркенес в конце 1940 г. (Раутио, 2004; Ларькова, 2012).

В контракте с компанией «Инко» отмечалось, что в случае войны контроль над рудниками и промышленными предприятиями должен перейти к финскому правительству. Это условие было реализовано в 1940 г., когда управление рудниками было передано финской дочерней компании «Инко» – «Петсамон Никелли Оу». Медно-никелевое производство в ходе советско-финской войны не пострадало.

Вскоре после вывода советских войск область Петсамо была оккупирована войсками фашистской Германии и на ее территории в июне 1941 г. развернулись боевые действия. В период оккупации месторождение интенсивно разрабатывалось под контролем немцев: на металлургическом заводе было переработано 290 тыс. тонн руды, 170 тыс. тонн руды было вывезено в Германию. Всего из добытой руды получено около 16 тыс. тонн никеля и 8 тыс. тонн меди с соответствующим количеством попутных металлов – золота, серебра, платиноидов (Antere, 1989). Важнейшее стратегическое сырье вывозилось через порты Лиинахамари и Киркенес круглый год (Ларькова, 2012). Вместе с тем, согласно сведениям Д.В. Дулича, на приграничной территории функционировала грузовая канатная дорога, которая также использовалась для вывоза никелевой руды из региона. Использование обычных дорог осложнялось тем, что в условиях зимы они страдали от постоянных снежных заносов, в другое время – от оползней и размывания (Дулич, 2008). Вступление в Петсамо советских войск в 1944 г. обеспечило СССР полный контроль над этой территорией.

Необходимо отметить, что после советско-финской войны горнопромышленная инфраструктура Петсамо оставалась нетронутой по геополитическим причинам (Раутио, 2004), но в 1944 г. отступающие немецкие войска полностью разрушили рудник, металлургический завод и поселки (рис. 1.2). Для их восстановления и дальнейшего развития медно-никелевого производства в Печенгском районе Мурманской области по Постановлению Правительства СССР в ноябре 1944 г. Министерством цветной металлургии был организован



Рис. 1.2. Разрушенный немцами при отступлении поселок Никель, 1944 г. (архив пресс-службы ОАО «Кольская ГМК»).

горно-металлургический комбинат «Печенганикель», а проектирование предприятия возложено на Государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Гипроникель».

Группа специалистов этого Института под руководством В.К. Котульского произвела пробную геологическую ревизию подземного рудника Каула, что позволило в самые короткие сроки начать добычу и доставку руды автомобильным транспортом в порт Лиинахамари и далее Мурманск и Мончегорск – на комбинат «Североникель» (Медно-никелевые..., 1999).

Пуск в эксплуатацию рудника поставил в ряд первоочередных задач восстановление полностью разрушенного немцами завода (<http://www.kolagmk.ru>). В течение последующих двух лет металлургический завод и наземные сооружения рудника Каула были восстановлены, возрожден поселок (Никель), построены школы, больница, линии электропередач, налажено хозяйство. Первая плавка руды на металлургическом заводе была произведена 6 ноября 1946 г. при помощи металлургов «Североникеля» и «Южуралникеля» (<http://www.kolagmk.ru>). С этого момента основная масса добытой руды стала перерабатываться на месте, хотя поставки ее на комбинат «Североникель» также продолжались.

Изучение материалов, раскрывающих особенности функционирования рудников в военное время показывает, что на протяжении 1939–1944 гг. медно-никелевое производство не прерывалось: добытая и переработан-

ная руда шла на нужды армии Германии. Активные военные действия, а также разрушение в 1944 г. немцами рудника, поселка и всей инфраструктуры негативно отразились на состоянии наземных экосистем, а некоторые следы антропогенной трансформации территории сохранились до настоящего времени.

1.4. Геологоразведочные работы в послевоенный период

В целях дальнейшего расширения минерально-сырьевой базы комбината «Печенганикель» в феврале 1945 г. по решению Министерства цветной металлургии СССР была организована Печенгская геологоразведочная партия (ГРП), первоочередной задачей которой стало детальное геологическое картирование и доразведка уже эксплуатируемых месторождений Каула и Каммикиви (рис. 1.3).

Результатом геологоразведочных работ стало открытие в 1946 г. Ждановского медно-никелевого месторождения, которое оценили как крупнейший рудный объект района. Весной 1953 г. вокруг временок геологоразведчиков появились палатки строителей железной дороги, которая должна была соединить Колу со станцией Ждановская. В 1955 г. «Печенгастрой» (а в последствии «Рудстрой») начал закладку поселка для рабочих, которым предстояло строить Ждановский горно-обогатительный комбинат. Согласно официальным источни-

Рис. 1.3. Рудник Каула-Котсельваара после 1945 г. (архив пресс-службы ОАО «Кольская ГМК»).



Рис. 1.4. Город Заполярный, 1965 г. (архив пресс-службы ОАО «Кольская ГМК»).





Рис. 1.5. Начало строительства рудника Северный, 1972 г. (архив пресс-службы ОАО «Кольская ГМК»).

кам, город Заполярный появился в 1956 г., а в 1960-е гг. он стал главным производственным центром и крупнейшим населенным пунктом в районе (рис. 1.4), хотя поселок Никель оставался его административным центром (Раутио, 2004). В 1965 г. Ждановский горно-обогатительный комбинат выдал первый концентрат, спустя два года в цехе обжига были получены медно-никелевые окатыши (<http://www.kolagmk.ru>).

Дальнейшие геологоразведочные работы велись геологоразведочной службой комбината (ГРС). Следует отметить открытие этой службой в 1948 г. так называемого «отдельного рудного тела в лежащем боку месторождения Каула с запасами богатой руды более 300 тыс. тонн». С 1953 г. началась отработка верхних горизонтов месторождения Каула открытым способом.

В 1950–1951 гг. по ручью Котсельйоки на расстоянии 1 км к востоку от месторождения Каула было открыто и разведано месторождение Промежуточное, полностью отработанное открытым способом в 1964–1970 гг. В 1952–1963 гг. разведано второе по количеству запасов медно-никелевых руд месторождение Котсельваара: вместе с рудником Каммикиви оно было введено в эксплуатацию, а в 1958 г. здесь была возведена обогатительная фабрика (<http://www.kolagmk.ru>). Изучение простираения рудной зоны далее на восток позволило

Печенгской ГРП в 60-х гг. разведать группу пластообразных рудных тел, объединенных под общим названием Семилетка.

Одновременно с разведкой месторождений продолжалось составление детальной геологической карты рудного поля, которая в основном была выполнена в 1957 г. совместными усилиями специалистов Кольского филиала АН СССР и Печенгской ГРП.

В послевоенное время был разведан ряд новых месторождений: Аллареченское (1957 г.), Восток (1961 г.), Заполярное (1967–1973 гг.), Спутник (1973–1974 гг.), Кьердживор (1979–1983 гг.) и другие (Медно-никелевые..., 1999). При высоком содержании в рудном теле никеля, меди и сопутствующих металлов отработка месторождений происходила в ближайшие 5–10 лет после их открытия в зависимости от размера залежи. Особо крупные залежи (например, на руднике Северный) разрабатывались дольше (рис. 1.5).

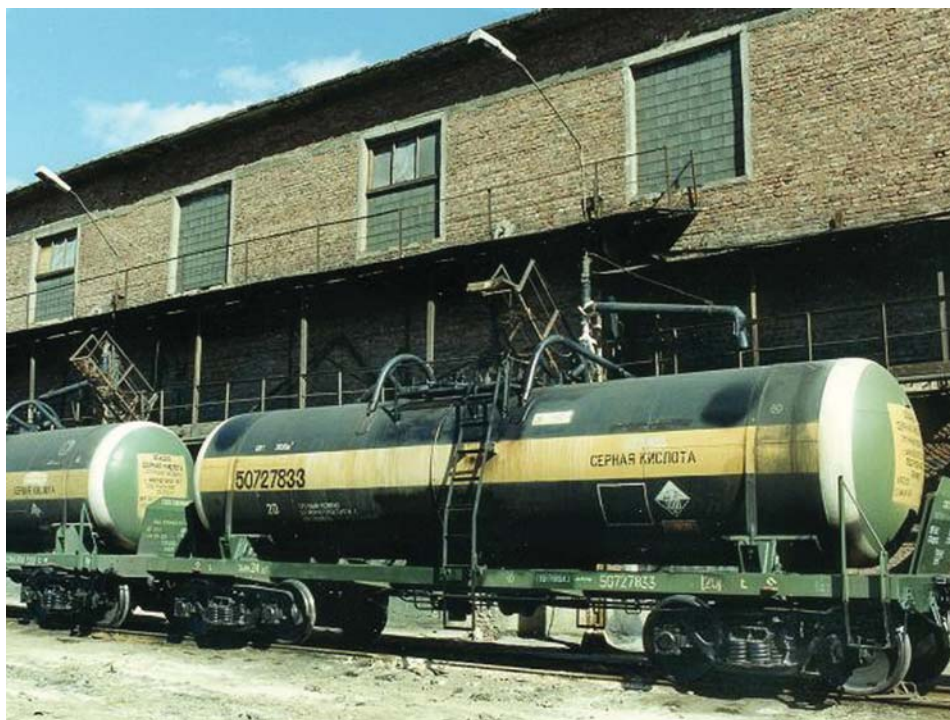
Таким образом, в послевоенные годы в рекордно короткие сроки были налажены добыча и переработка медно-никелевых руд в районе поселка Никель. На базе Ждановского месторождения возник новый город Заполярный, где был построен горно-обогатительный комбинат. Приоритетным направлением развития отрасли были геологоразведочные работы, которые обуславливали увеличение масштабов разработок и строительство новых мощностей комбината «Печенганикель».

В этот период продолжалась антропогенная трансформация поверхности рассматриваемой территории, обусловленная добычей руды открытым способом и возведением наземных сооружений (рудников и др.). Но необходимо отметить, что в послевоенное время на комбинате «Печенганикель» перерабатывалась исключительно местная руда (с небольшим содержанием серы), вследствие этого воздействие на экосистемы выбросов было крайне незначительным.

1.5. «Пик» медно-никелевого производства (1970-е гг.)

Наращивание оборонной мощи СССР в 1970-х гг. предполагало увеличение производства цветных металлов: руководство Министерства цветной металлургии страны приняло решение направить на комбинаты, находящиеся на Кольском полуострове, руду норильских рудников. В тот период времени в Норильске не хватало мощностей для переработки всего объема добываемой руды. Содержание серы в норильской руде было значительно выше, чем в местной, что обуславливало увеличение негативного воздействия производст-

Рис. 1.6. Серноокислотное отделение ОАО «Кольская ГМК» (архив пресс-службы ОАО «Кольская ГМК»).



ва на окружающую территорию. К концу 1970-х гг. на комбинаты «Печенганикель», «Североникель» поставлялось уже более 1 млн. тонн норильской руды, которая делилась между ними примерно поровну. По данным Кольской ГМК, общий объем выбросов в 1977 г. составил 411 тыс. тонн, из них 400 тыс. тонн пришлось на диоксид серы и 11 тыс. тонн – на твердые частицы.

Переработка руды с высоким содержанием серы в цехах комбината «Печенганикель», которые не были на это рассчитаны, давала побочные эффекты в виде повышенного содержания серы в выбросах и сбросах. Результатом этого стала деградация наземных экосистем в окрестностях Никеля и Заполярного, имевшая необратимые последствия. Поскольку ситуация с выбросами стала критической, было принято решение построить серноокислотное производство в объеме одной технологической нитки (рис. 1.6). Это решение было реализовано в 1979 г., что позволило после выхода нитки на проектный режим работы в 1981 г., снизить выбросы диоксида серы на 10,9% (т.е. до уровня 371 тыс. тонн/год). Здесь впервые в мире была освоена технология получения серной кислоты из «бедных» конверторных газов (<http://www.kolagmk.ru>).

В виду того, что уровень негативного воздействия на окружающую территорию оставался существенным, руководством Министерства цветной металлургии

СССР было принято решение о строительстве второй технологической нитки серноокислотного производства. Реализация этой задачи в 1987 г. позволила поднять степень утилизации диоксида серы до 27,2%, а выбросы диоксида серы от плавильного цеха снизить до 187 тыс. тонн (рис. 1.7). В это время производственные мощности комбината перерабатывали в среднем 1400 тыс. тонн сырья в год (в т.ч. 600 тыс. тонн норильской руды), выпускали 113 тыс. тонн файнштейна с содержанием никеля 41,6%. Кроме организации серноокислотного производства в 1970-х гг. была произведена модернизация основного оборудования: в плавильном цехе введены в эксплуатацию новые конверторы и электропечи обеднения конверторных шлаков (<http://www.kolagmk.ru>).

Оценивая воздействие производственной деятельности комбината «Печенганикель» на наземные экосистемы в 1970-е и последующие годы, необходимо подчеркнуть, что «пик» медно-никелевого производства пагубно сказался на их состоянии. Главной причиной деградации наземных экосистем на значительных площадях вокруг комбината «Печенганикель» стало несоответствие технологической схемы производства поступающему из Норильска сырью с высоким содержанием серы в руде. Деятельность комбината в тот период отражала общую ориентацию экономики страны на интенсифика-

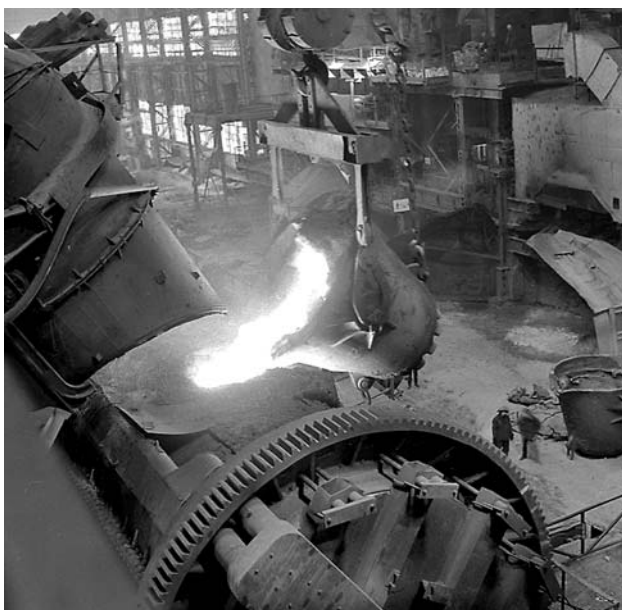


Рис. 1.7. Плавильный цех в Никеле, 1972 г. (архив пресс-службы ОАО «Кольская ГМК»).

цию производства и была направлена на реализацию задач неуклонного наращивания производства цветных металлов (<http://www.kolagmk.ru>).

1.6. Современный этап развития медно-никелевого производства (после 1991 г.)

В начале 1990-х гг. задачи деятельности комбината «Печенганикель» существенно изменились: на первом плане стояло сохранение самих предприятий, рабочих мест, населенных пунктов и медно-никелевого производства в этом районе в целом. Государственный сектор и местная администрация не располагали средствами для оказания помощи в технологической модернизации комбината для сокращения его негативного воздействия на окружающую территорию (Раутио, 2004).

Уровень выбросов загрязняющих веществ на конец 1980-х гг. полностью соответствовал международным обязательствам СССР на этот период времени (обязательства по Женевской конвенции), однако он по-прежнему оставался достаточно высоким для нормального функционирования наземных экосистем северо-запада Кольского полуострова. В связи с этим руководство комбината «Печенганикель» (с 1998 г. – ОАО «Кольская ГМК») приняло решение о проведении комплекса мероприятий по снижению воздействия на окружающую среду.

Для снижения выбросов диоксида серы в п. Никель необходимо было, в первую очередь, отказаться от переработки норильской руды. К решению этого вопроса приступили в 1992 г. и полностью отказались от ее переработки с 2002 г. Поскольку в 1989 г. из поступавшей на комбинат «Печенганикель» норильской руды было выпущено почти 40% никеля в файнштейне, уменьшение ее доли в перерабатываемом сырье требовало пропорционального восполнения никеля в готовой продукции за счет собственной рудной базы, что требовало постоянного ее расширения.

Следующим мероприятием была модернизация рудно-термических печей, что позволило сократить в два раза количество газовыделяющих металлургических агрегатов. Благодаря этому значительно сократились выбросы диоксида серы и пыли, которые оказывали наибольшее негативное влияние на состояние окружающей среды в районе п. Никель (рис. 1.8).

Параллельно с этим шла работа по реконструкции обогатительной фабрики в целях увеличения доли никеля в концентрате. Ее реконструкция была завершена в 2004 г., что позволило получить содержание никеля в концентрате до 9%, снизить объемы проплава серосодержащей шихты и, следовательно, сократить выбросы диоксида серы и пыли.

В 2001–2004 гг. осуществлялись мероприятия по модернизации трактов газоудаления конвертеров и реконструкция серноокислотного производства, что также позволило сократить выбросы диоксида серы от низких источников. На все перечисленные выше работы, а также на мероприятия по развитию собственной рудной базы, для сохранения объемов выпуска металлов, по данным Кольской ГМК, было затрачено более 350 млн. долларов США.

Проведение комплекса мероприятий позволило обеспечить при стабильной работе плавильного цеха удержание уровня выбросов диоксида серы в пределах 50–56 тыс. тонн в год без потери объемов выпускаемой продукции. Ввод в эксплуатацию первого пускового комплекса мощностью 1 млн. тонн руды в год состоялся 1 ноября 2004 г. В конце 2010 г. завершилось строительство третьего пускового комплекса. Рудник был выведен на проектную мощность: в настоящее время здесь завершается строительство четвертого пускового комплекса. Одновременно с этим на комбинате проводится поэтапная реконструкция металлургического производства (<http://www.kolagmk.ru>).

В 2010 г. было выпущено 95,8 тыс. тонн файнштейна с содержанием никеля 46,3%, при этом выбросы от плавильного производства составили 56 тыс. тонн диоксида

Рис. 1.8. Промышленная площадка Никель в дымке, 2012 г. (фото М.С. Ларьковой).



серы. В настоящее время завершены работы по строительству участка брикетирования в городе Заполярный, проводятся пусконаладочные работы, идут работы по подготовке плавильного цеха в поселке Никель к работе на новом виде сырья.

По данным компании «Кольская ГМК», особое внимание уделяется работам по снижению низких выбросов от металлургических агрегатов. Она осуществляется по нескольким направлениям:

1. Выполнен проект по транспортировке технологических газов РТП (подсводовое пространство) и сбора аспирационных газов от штейновых и шлаковых площадок печей (от шпуров, желобов и штейновых зонтов) с их транспортировкой на дымовую трубу № 2. В настоящее время начата его реализация, ведутся работы по строительству фундаментов для установки дымососа и опор газоходов.

2. Реализован проект по автоматизации существующей системы загрузки на РТП № 3 плавильного цеха. Осуществляется закупка и монтаж оборудования для аналогичной реконструкции системы загрузки на РТП № 4.

3. Выполнен проект по сбору неорганизованных выбросов (аспирационных укрытий) от конвертеров с направлением их в дымовую трубу. Прорабатывается схема его реализации.

4. Завершается проработка рабочей документации по установке частотного регулирования скорости враще-

ния приводов на 2-х дымососах УПСК с одновременным внедрением автоматизированной системы регулирования забора газов от конвертеров. Закуплено основное оборудование, ведутся подготовительные работы по реализации данного проекта.

5. Выполняются мероприятия по увеличению газовой нагрузки УПСК до 150 тыс. м³/ч. В 2010 г. выполнена замена катализатора в контактном аппарате первой очереди УПСК и керамической насадки в первой промывной башне второй очереди. В 2011 г. выполнена замена керамической насадки во второй промывной башне первой очереди. На 2012 г. запланирована замена катализатора в контактном аппарате второй очереди.

Перечисленные выше меры позволяют снизить негативное воздействие медно-никелевого производства на окружающую территорию. Вместе с тем, сложившаяся еще в 1970-е гг. XX века неблагоприятная экологическая ситуация в районе действия промышленных площадок «Никель» и «Заполярный», сохраняется и сегодня. Деграция наземных экосистем северо-запада Кольского полуострова отражает результаты многовековой истории освоения территории и требует особого внимания. Об этом свидетельствуют результаты международных проектов и российских исследований последних десяти лет, посвященных изучению состояния наземных экосистем данного района и представленных в следующих двух главах книги.

Источники

1. *Богуслав И.А.* Исторический взгляд на Варангерское Поморье // Морской сб., 1862, т. LXII, № 10, с. 279–294 (подпись Беломорский О.).
2. *Визе В.Ю.* Лопарские сейды // Известия Архангельского Общества изучения Русского севера, 1912, № 9, с. 395–401; № 10, с. 452–459.
3. *Дулич Д.В.* Канатная дорога на Мурмане 1942–1944: мифы и реальность. – Мурманск: Просветительский центр «Доброхот», Издательство «Добросмысл», 2008, 96 с.
4. *Игнатова Н.И.* «Нашь Северь». Глава XXIV Города на линиях пароходства по Ледовитому океану и Белому морю. – С.-Петербург: Типография Министерства Путей Сообщения, 1896, с. 288–326.
5. Книга Большому Чертежу (под ред. К.Н. Себриной). – М.: Издательство АН СССР, 1950, 233 с.
6. Краткое историческое описание приходов и церквей Архангельской епархии. Архангельский епархиальный церковно-археологический комитет. Вып. 3. Уезды: Онежский, Кемский и Кольский. – Архангельск: Типо-литография наследников Д. Горяйнова, 1896, 267с.
7. *Ламартиньер, Пьер Мартин де.* Путешествие в северные страны, в котором описаны нравы, образ жизни и суеверия норвежцев, лапландцев, килопов, борандайцев, сибиряков, самоедов, новоземельцев и исландцев = Voyage des pais septentrionaux: с рисунками / Де-Ламартиньера; пер., объяснения [вступ. ст.] и примеч. В. Н. Семеновича; пер. и печ. под наблюдением С. К. Кузнецова. – Москва: Изд. Московского Археологического института, 1911, XVI-XL, 229 с.
8. *Ларькова М.С.* Особенности освоения российской части бассейна реки Патсо-йоки (Паз) в XX веке // Вестник МГОУ, серия «Естественные науки», № 3, 2012, с. 90–96.
9. *Ларькова М.С., Хлебосолова О.А.* Этапы освоения бассейна реки Паз во взаимосвязи с типами природопользования (от древних времен до начала XX века) // Вестник МГОУ, серия «Естественные науки», № 1, 2012, с. 102–108.
10. Лопари и их предания: Сообщ. Д.Н. Островского: (Читано в Отд-нии этнографии 4 нояб. 1888 г.). – Санкт-Петербург: тип. В.С. Суворина, 1889, 18 с.
11. *Львов В.Н.* Русская Лапландия и русские лопари. Географический и этнографический очерк. Третье изд. – М.: «Типо-литография Русского товарищества печатного и издательского дела», 1916, 97 с.
12. Медно-никелевые месторождения Печенги (отв. редактор Н.П. Лаверов). Труды института ИГЕМ РАН. Новая серия. Вып. 2. – М.: ГЕОС, 1999, 236 с.
13. Печенга. Опыт краеведческой энциклопедии (автор-составитель В.А. Мацак). – Мурманск: Просветительский центр «Доброхот», Издательство «Добросмысл», 2005, 1008 с.
14. *Раутио В., Андреев О.А.* Социальная реструктуризация горнодобывающей промышленности Печенгского района Мурманской области. – Мурманск: МГИ-БЦСИ, 2004, 80 с.
15. *Рейнеке М.Ф.* Описание города Колы в Российской Лапландии (из Записок флота лейтенанта Рейнеке). – СПб.: Тип. Н. Греча, 1830, 53 с.
16. Север России / [Соч.] М. Сидорова. – СПб.: тип. Почтового деп., 1820, 557 с.
17. *Семенович В.Н.* Север России в военно-морском и коммерческом отношении. Морские письма черноморца. Издание журнала «Русское Обозрение». – Москва: Университетская типография, Страстной бульвар, 1894, 145 с.
18. *Сидоров М.* Север России // Русский вестник. – Изд-во М. Баткова, 1866, т. 63, с. 697–741.
19. *Теребихин Н.М.* Образы и символы реки в священной географии северной Фенноскандии (Лапландии) // Вестник Поморского университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. – Архангельск: Изд-во Поморского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 2010, № 4, с. 51–56.
20. *Фрис И.А.* Печенгский монастырь в русской Лапландии (пер. с норв., пересказ Д.Н. Островского) // Вестник Европы. – 1885, кн. 4, № 7, с. 253–277; № 8, с. 611–625.
21. *Чулков Н.О.* К истории разграничения России с Норвегией // Русский архив. – 1901, кн. 1, с. 141–157.
22. *Antere E., Liede J.* Petsarnon Nikkeli. TaisteIn Strategisesta metallista. – He1sinki, 1989, 304 p.
23. *Vayrynen H.* Petrologie des Nicke1erzfe1des Kau1atunturi-Kammikiv1tunturi in Petsamo // Bull. Comrn1ng geo1. Fin1ande, 1938, № 116.
24. <http://www.kolagmk.ru> – официальный сайт ОАО «Кольская ГМК»

2.1. Состояние наземных экосистем приграничных территорий: обзор материалов «Пасвик-программы» (2003–2006 гг.) и доклада «Беллоны» (2010 г.)

Международная «Программа мониторинга за изменениями окружающей среды» в приграничном районе России, Норвегии и Финляндии (так называемая «Пасвик-программа») осуществлялась в 2003–2006 гг. Основная идея проекта состояла в объединении усилий трех стран-соседей в проведении исследований на обширной территории северо-запада Кольского полуострова, подверженной влиянию выбросов медно-никелевого производства Кольской горно-металлургической компании (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный») (State of the Environment..., 2007).

Результаты трехлетних исследований предполагалось использовать для регионального экологического планирования и принятия совместных решений. Важной задачей проекта было обоснование экономически эффективной трехсторонней программы мониторинга на основе использования национальных программ и полученных в ходе проекта результатов.

В «Пасвик-программе» приняли участие представители региональных органов управления трех стран, курирующих вопросы охраны окружающей среды, и более двадцати научно-исследовательских учреждений России, Норвегии и Финляндии. При проведении исследований использовались имеющиеся данные и результаты работы по проекту.

Программой предусматривалась совместная работа по трем направлениям: (1) качество воздуха; (2) качество воды и водные экосистемы; (3) наземные экосистемы.

В контексте задач этой книги мы обратимся к последней части «Пасвик-программы» и кратко рассмотрим методы и результаты изучения влияния медно-никелевого производства на состояние наземных экосистем приграничной территории.

Методы

В ходе реализации «Пасвик-программы» была образована сеть наблюдений за наземными экосистемами, представляющая собой экспериментальные площадки, заложенные в северном, западном и южном направлениях от источников загрязнения в п.Никель и г. Заполярный (в восточном направлении площадки не закладывались). Точки наблюдений находились на разном удалении от предприятий, включая контрольные площадки (рис.2.1) (Программа..., 2008).

Индикаторами загрязнения служили эпифитные лишайники на стволах берез (SO_2 , тяжелые металлы), мхи (тяжелые металлы), листья березы и черники (уровень фотосинтеза), сосновая хвоя. Дополнительно анализировались следующие показатели: параметры роста, количество хвои и листьев, цвет крон деревьев, разнообразие видов, мхи и лишайники (на содержание тяжелых металлов), ягоды и грибы.

Результаты

Полученные в ходе исследований данные были обобщены в итоговом отчете (State of the Environment..., 2007), включающем раздел «Наземные экосистемы». Кратко остановимся на его содержании.

1. Состояние почв. Содержание тяжелых металлов в почвах было максимальным вокруг производственных объектов. По мере удаления от предприятий уровень концентраций тяжелых металлов снижается и зависит от особенностей перераспределения атмосферных осадков. Большая часть металлов находится в связанной форме, однако содержание доступных для растений форм велико, что препятствует возобновлению растительности на территориях, подверженных загрязнению, в особенности между двумя промышленными площадками комбината «Никель» и «Заполярный». Высокий уровень выбросов диоксида серы не влияет на процесс закисления почв, что обусловлено «защитным эффектом» скальных пород в данном районе.



Рис. 2.1. Сеть экспериментальных площадок (Программа..., 2008)

2. Состояние биоиндикаторов. Анализ результатов проведенных исследований показал, что вблизи предприятий мхи и лишайники полностью отсутствуют. Они постепенно появляются по мере удаления от промышленных предприятий и активно аккумулируют загрязняющие вещества из атмосферы. Содержание тяжелых металлов в мхах и лишайниках наиболее велико вблизи производственных объектов и снижается по мере удаления от них (рис. 2.2).

Для выявления динамических тенденций в ходе реализации «Пасвик-программы» использовались результаты предыдущих исследований, которые также были включены в итоговый отчет. При описании состояния напочвенного покрова указывается, что по сравнению с началом 90-х гг. на некоторых экспериментальных площадках на российской территории происходит восстановление менее восприимчивых к загрязнению видов мхов и лишайников.

Эпифитные лишайники, произрастающие на стволах и ветвях деревьев, отсутствуют в непосредственной близости от предприятий. Их количество существенно увеличивается по мере удаления от производственных объектов в западном направлении. В северном и южном направлении лишайники на стволах деревьев появляются только на расстоянии 30–35 км.

Исследование показало, что сильному загрязнению подвержен напочвенный покров рядом с промышленными площадками. Установлено, что на более загрязненных участках доминируют кустарнички, которые относительно более устойчивы к воздействию тяжелых металлов и прочих веществ, выделяемых в процессе металлургического производства, на менее загрязненных территориях – лишайники.

Анализ состояния древесных и кустарничковых форм растительности в районе воздействия промышленных предприятий показал, что оказываемое влияние имеет ряд территориальных особенностей. Так, состояние сосен значительно лучше в норвежской части приграничной территории, чем в российской. Наличие слабых деревьев объясняется влиянием на них не только аэротехногенного загрязнения, но и ряда других факторов. Выявлено, что вещества, выбрасываемые промышленными предприятиями, оказывают влияние на процесс фотосинтеза. Так, в непосредственной близости от предприятий этот процесс в листьях березы и черники протекает на крайне низком уровне. В связи с этим, в кронах берез заметны признаки трансформации. Вместе с тем, береза, как листопадный вид, менее чувствительна к загрязнению, чем сосна.

Рис. 2.2. Концентрация металлов во мхах, мг/кг (<http://www.pasvikmonitoring.org>)

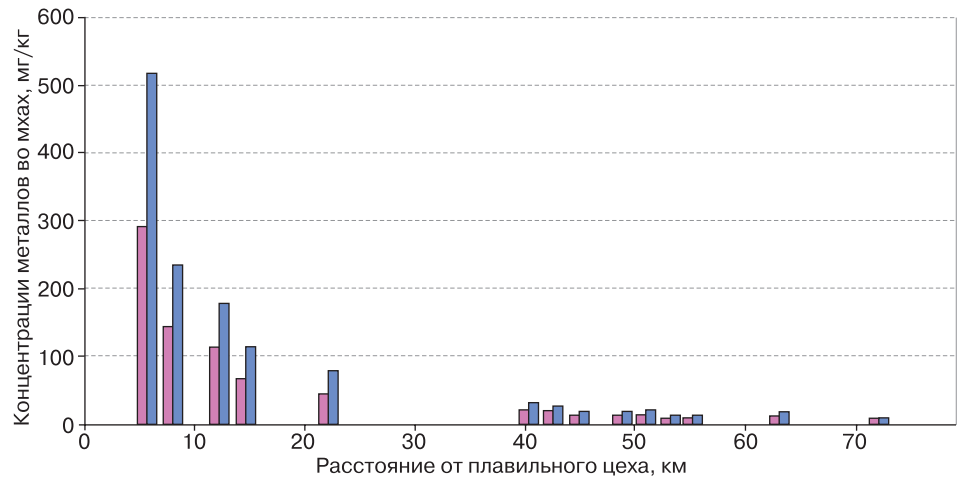
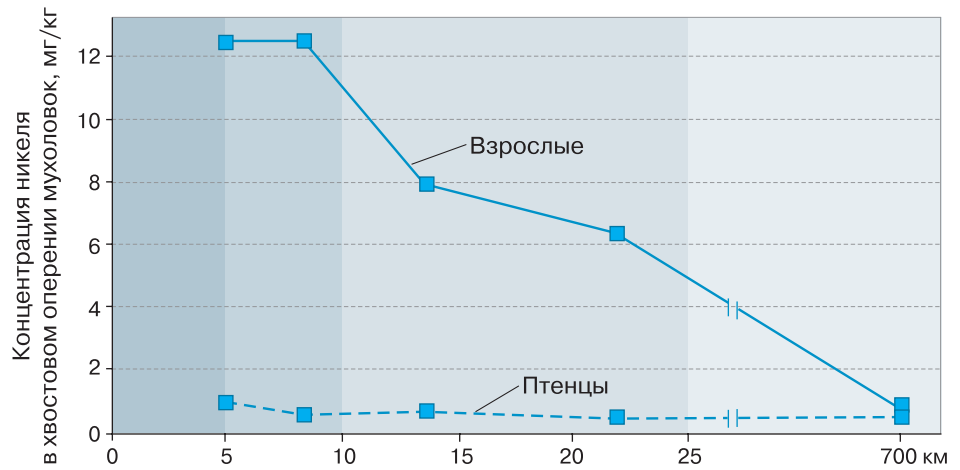
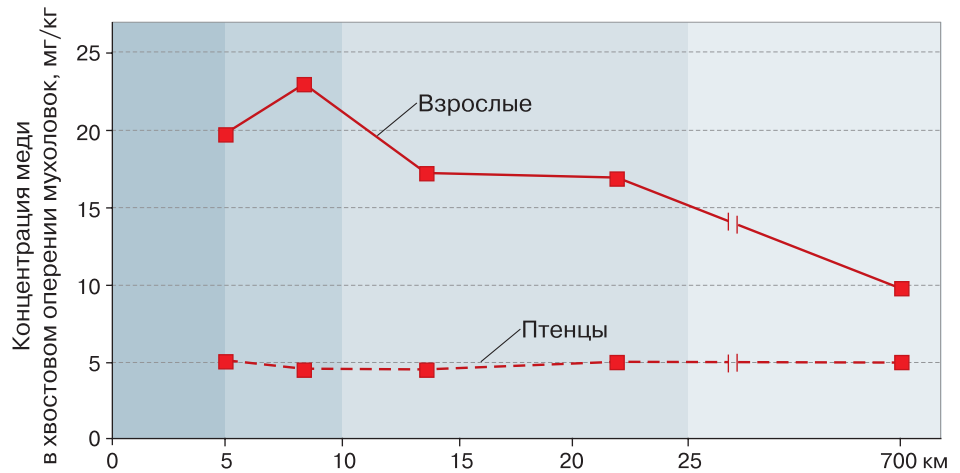


Рис. 2.3. Концентрации тяжелых металлов в хвостовом оперении мухоловок, гнездящихся на разном удалении от комбината (<http://www.pasvikmonitoring.org>).



Работы, посвященные анализу накопления тяжелых металлов в организмах животных, населяющих лесные станции на разном расстоянии от промышленных предприятий, дают похожие результаты. На примере птиц (модельным объектом была выбрана мухоловка-пеструшка) (рис.2.3) показано, что более высокая концентрация этих элементов наблюдается в оперении птиц, обитающих в непосредственной близости от комбината. У птиц, обитающих на загрязненных территориях, также отмечены низкие показатели продуктивности размножения.

Изучение состояния популяций мелких млекопитающих, которое проводилось на основе сравнения численности серой полевки, рыжей полевки и обыкновенной землеройки, свидетельствует о том, что по мере удаления от предприятий возрастает численность мелких млекопитающих. В то же время меняется структура населения этих позвоночных животных. Так, на расстоянии 7–13 км от источника загрязнения численность серых полевок почти в пять раз выше, чем рыжих полевок, а в незагрязненных районах рыжие полевки обычно более многочисленны.

Таким образом, полученные в ходе реализации «Пасвик-программы» результаты показывают, что накопление тяжелых металлов в почвах происходит неравномерно и определяется расстоянием от комбината. В связи с тем, что загрязнение верхних горизонтов почвы происходило на протяжении всего времени функционирования здесь медно-никелевого производства (более 75 лет), снижение концентраций тяжелых металлов в почве даже при сокращении вредных выбросов в ходе модернизации производства маловероятно. В свою очередь, состояние почв в значительной мере определяет состояние напочвенного покрова и древостоя: именно поэтому возобновление растительности происходит крайне медленно. В целом изменение состояния растительного покрова происходит по градиенту загрязнения, при этом, по всем биоиндикаторам, самая неблагоприятная ситуация складывается в непосредственной близости от производственных объектов, самая благоприятная – в западном направлении от комбината, то есть на приграничных территориях.

Доклад международного экологического объединения «Беллона» «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» (влияние на окружающую среду и здоровье людей)», подготовленный в 2010 г., также включает данные о состоянии наземных экосистем северо-запада Кольского полуострова. Кратко остановимся на его содержании (Горно-металлургическая..., 2010).

В задачи доклада входило: (1) предоставление объективной информации о нынешнем состоянии окружающей среды в районах хозяйственной деятельности предприятий Горно-металлургической компании «Норильский никель», (2) привлечение общественности, представителей промышленности и администрации всех уровней к дискуссии с целью поиска путей уменьшения антропогенного воздействия на окружающую среду и здоровье людей.

Один из разделов доклада посвящен «Кольской горно-металлургической компании» – дочернему предприятию компании «Норильский никель». В нем представлена информация о сырьевой базе и технологическом процессе предприятий медно-никелевого производства на Кольском полуострове, обсуждаются различные аспекты техногенного воздействия: (1) загрязнение атмосферного воздуха; (2) загрязнение атмосферы тяжелыми металлами; (3) загрязнение поверхностных вод; (4) загрязнение подземных вод; (5) влияние производственной деятельности на наземную экосистему.

Следует отметить, что в докладе международного экологического объединения «Беллона» отсутствует какая-либо новая информация о влиянии предприятий Кольской горно-металлургической компании на наземные экосистемы. Содержание соответствующего раздела доклада составлено преимущественно по материалам «Пасвик-программы». Дополнительно к ним приведены сведения о превышении концентраций тяжелых металлов в почвах Печенгского района, а также о площадях, поврежденных промышленными выбросами в Печенгском лесхозе (из докладов комитета природопользования и экологии Мурманской области за 2008–2009 гг.).

Представленные выше результаты международных исследований, направленные на изучение состояния наземных экосистем в районе действия предприятий Кольской горно-металлургической компании (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»), раскрывают характер и степень деградации наземных экосистем, а также факторы, их определяющие. Вместе с тем, эти данные отражают совокупный эффект современных и прошлых воздействий выбросов медно-никелевого производства. Выявление динамических тенденций в состоянии наземных экосистем в настоящее время предполагает проведение специальных научных исследований, к числу которых следует отнести многолетние исследования по программам Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН.

Литература

1. Горно-металлургическая компания «Норильский никель» (влияние на окружающую среду и здоровье людей). Доклад объединения «Bellona», 2010, 71 с.
2. Программа «Пасвик». Общий отчет 2008: состояние окружающей среды в приграничном районе Норвегии, Финляндии и России. Korijyvä Oy, Ювяскюля, 2008, 21 с.
3. State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. Editors: K. Stebel, G. Christensen, J. Derome, I. Grekela // The Finnish Environment. – Rovaniemi, 2007, N6, 98p. <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=241725&lan=en>
4. <http://www.pasvikmonitoring.org/> – официальный сайт Программы «Пасвик»

2.2. Исследование состояния наземных экосистем по программам Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН

С конца 1980-х гг. Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (ИППЭС КНЦ РАН) участвовал в национальных и международных проектах, направленных на изучение влияния выбросов комбината «Печенганикель» на наземные экосистемы северо-запада Кольского полуострова и прилегающих территорий Норвегии и Финляндии.

Первым крупным российско-финским проектом, в котором участвовали сотрудники ИППЭС КНЦ РАН и Лесного исследовательского института Финляндии, был проект «The Lapland Forest Damage Project» (1990–1995 гг.). В процессе этих исследований была создана мониторинговая сеть площадок от п. Никель к Финляндии по трем трансектам в северо-западном, западном и юго-западном направлениях.

Следующий международный проект «Patterns and Dynamics of Biological Diversity in the Sør-Varanger – Pechenga area (Norway and Russia) as a function of eco-geochemistry, landscape and air pollution effects» между Россией (ИППЭС КНЦ РАН) и Норвегией (Институты NINA, NGU), включающий исследования на приграничной территории, стартовал в 2000 году.

Комплексные исследования норвежских и российских ученых состояли в том, чтобы изучить влияние загрязнения воздуха комбинатом «Печенганикель» на свойства почвы (способность обмена катионами, кислотность почвы, концентрация элементов в почве) и накопление элементов (питательных веществ и загрязнителей) лесными растениями. Мониторинговая сеть

включала 31 площадку вдоль северо-южного и западно-восточного трансект, проходящих через п. Никель.

Результатами исследований по вышеперечисленным проектам установлено существенное воздействие выбросов на наземные экосистемы в непосредственной близости к площадкам «Никель» и «Заполярный» (Vassilieva, 1992, 1993; Tikkanen, Niemela, 1995; Lukina, Nikonov, 1997; Derome et al., 1998; Reimann et al., 1998; Tommervik et al., 1998, 2003; Aamlid et al., 2000; Steinnes et al., 2000; Aamlid, Skogheim, 2001; Odasz, Albrigtsen et al., 2001; SFT 2002).

В 2003–2006 гг. проведены комплексные исследования более чем 20 научно-исследовательскими институтами и природоохранными организациями Норвегии, Финляндии и России, в том числе ИППЭС КНЦ РАН, по международному проекту «Development and implementation of an environmental monitoring and assessment programme in the joint Finnish, Norwegian and Russian border area» (Программа..., 2008). Новая мониторинговая сеть включила 23 выбранные площадки из трех ранее созданных трансект в сосновых и березовых лесах: 10 – в России, 5 – в Норвегии и 11 – в Финляндии. Площадки располагались по градиентам север-юг и запад-восток относительно источника загрязнения и включали как сильно поврежденные территории, так и фоновые участки.

Исследования включали в себя мониторинг широкого круга наземных параметров: состояние кроны; прирост лесонасаждения; видовой состав наземной растительности; наличие эпифитных лишайников на стволах березы и сосны; жизнеспособность растений, измеряемая на основе эффективности фотосинтеза; химический анализ мхов, лишайников и сосудистых растений; видовой состав птиц (воробьиных) и мелких млекопитающих (грызунов и землероек); химические особенности органогенного и минерального слоев почвы; химический состав атмосферных выпадений и осадков, проникающих сквозь полог леса.

Результаты исследований по трехстороннему международному проекту опубликованы в различных отчетах и статьях (Derome et al., 2007a; 2007b; 2008; Isaeva et al., 2008; Paatero et al., 2008; Myking et al., 2009 и др.).

Основные исследования, проводимые ИППЭС КНЦ РАН, включили оценку элементного состава доминирующих растений на мониторинговых площадках и восстановление растительности на техногенных пустошах в зоне влияния комбината. Результаты исследований представлены ниже.

2.2.1. Влияние атмосферного промышленного загрязнения на элементный состав растительности

В настоящее время важнейшим фактором формирования химического состава растений является воздушное промышленное загрязнение. В таких условиях обычно наблюдается накопление элементов, входящих в состав выбросов, которые могут поступать в растения как из почвы, так и из атмосферы. Одними из мощных источников аэротехногенного загрязнения на Кольском полуострове являются промышленные площадки «Никель» и «Заполярный» ОАО «Кольская ГМК», преобладающими компонентами выбросов которых являются кислотообразующие вещества и тяжелые металлы.

Долговременное техногенное воздействие привело к значительным нарушениям функционирования лесных экосистем, в том числе минерального питания растений. Негативные последствия воздействия на лесные экосистемы прослеживаются на десятки километров от источника. Видимые повреждения растительности, вызванные выбросами диоксида серы, являются общими для растений, и их симптомы можно увидеть у разных видов. На загрязненной территории обнаруживаются негативные изменения морфоструктурных и визуальных параметров древесных растений (повышение уровня дефолиации, увеличение площади некрозов хвои и листьев, уменьшение массы хвои на побегах, ее длины, сокращение продолжительности жизни, снижение охвоенности побегов и др.). В непосредственной близости от комбината леса сухостойные или сильно поврежденные. Снижение объемов производства в течение последних двух десятилетий обусловило начальные признаки восстановления экосистем, но процессы накопления загрязняющих веществ в различных компонентах лесных фитоценозов продолжаются. Для биоиндикационных исследований с целью оценки состояния лесных биогеоценозов могут быть рекомендованы ассимилирующие органы растений, которые весьма чувствительны к условиям произрастания.

С 1991 г. лабораторией наземных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в районе деятельности комбината проводятся комплексные исследования лесных экосистем, которые включают в себя исследования атмосферных осадков, почвенных вод, растений, почв, в том числе биогеохимических циклов элементов минерального питания.

Результаты исследований опубликованы (Лукина, Никонов, 1993, 1998; Isaeva et al., 2008; Сухарева, 2012 и др.), но касаются они, главным образом, пространст-



Рис. 2.4. Схема расположения мониторинговых площадок.

венной изменчивости различных показателей северотаежных лесов в условиях загрязнения.

В последние годы в научной литературе стали появляться результаты анализа многолетней динамики состояния различных компонентов лесных экосистем в зоне влияния медно-никелевых комбинатов на Кольском полуострове, но посвящены они, в основном, влиянию на наземные экосистемы комбината «Североникель», а для района промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» такие данные практически отсутствуют. В то же время наблюдения на одних и тех же объектах в многолетнем тренде представляют огромную теоретическую и практическую значимость для получения объективной картины происходящих изменений в условиях долговременного аэротехногенного воздействия.

Цель работы – дать оценку многолетней динамике элементного состава листьев доминирующих растений северотаежных лесов Кольского полуострова, форми-

Таблица 2.1. Элементный состав хвои сосны текущего года в зоне влияния комбината, мг кг⁻¹ абс. сухого вещества

ППП	Расстояние от комбината (км)	Год	Ca	K	P	S	Mg	Mn	Al	Fe	Zn	Ni	Cu
RUS1	5	2004	2012	8150	1907	887	950	444	177	49	24	14	7
		2011	3298	6597	1828	1039	1329	736	288	211	26	54	42
S03	7	1991	1678	7362	н.о.	н.о.	838	147	170	112	62	24	33
		2004	1698	5731	1635	930	1154	239	247	107	27	25	9
		2011	2987	6261	1761	1823	1276	331	250	168	35	46	36
N06	12	1991	1788	6512	н.о.	н.о.	884	70	183	181	27	23	18
		2004	1970	7171	1965	1008	878	341	290	106	24	38	16
		2011	2643	6199	1785	1502	1231	474	247	216	24	59	43
S05	14	1991	1685	6394	н.о.	н.о.	901	101	171	158	31	31	18
		2004	1511	6915	1927	947	1122	383	306	95	34	18	7
		2011	2696	5666	2172	1443	1326	623	404	83	38	31	20
S10	32	1991	2105	5348	н.о.	н.о.	1091	311	226	244	37	36	15
		2004	1418	6165	1536	709	1120	404	171	42	39	13	6
RUS0	44	1991	1577	4078	н.о.	н.о.	813	478	203	29	35	6	4
		2004	1175	7900	2182	750	1086	247	124	26	28	7	6
		2011	2460	4796	1713	1020	1345	482	234	46	42	11	5

Примечание: здесь и далее «н.о» – не определяли.

рующихся в зоне влияния промышленных площадок «Никель» и «Заполярный».

Исследования проводили на постоянных мониторинговых площадях в период 1991–2011 гг. Пробные площади расположены на различном удалении от комбината (5, 7, 12, 14, 32 км). Основным типом лесной растительности в районе исследования явились березняки травяные, лишайниково-кустарничковые и кустарничковые, а также сосново-березовые леса лишайниково-кустарничкового и кустарничкового типа. Контрольной пробной площадью (условно фоновая территория) послужил сосняк лишайниково-кустарничково-зеленомошный, расположенный в 44 км от комбината, площадка RUS0 (рис. 2.4).

Объектами исследования явились сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), зеленые мхи (*Pleurozium schreberi* (Brid.) и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. in S.B.G.Mitt. и лишайник *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Véz. Растительные пробы собраны в 1991, 2000, 2004 и 2011 гг. Образцы хвои (листьев) отбирались на каждой площадке из верхней трети кроны, зеленых мхов и лишайников в межкрупных пространствах в 5-ти кратной повторности. Хвоя разобрана по возрастным классам. Растительные пробы высушены, очищены от примесей с помощью пинцета и размолоты. Металлы (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn) определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, калий – атомно-эмиссионной спектрометрии; фосфор – фотоколориметрическим методом по интенсивности окраски фосфорно-мо-

либденового комплекса; серу – турбидиметрическим методом.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является одной из основных лесообразующими пород на территории Мурманской области и благодаря чувствительности к изменению условий произрастания широко используется в экологических исследованиях. Элементный состав фотосинтезирующих органов сосны в условиях атмосферного загрязнения претерпевает значительные изменения (табл. 2.1). В фоновых условиях в хвойных деревьях северотаежных лесов отмечается довольно низкая концентрация никеля и меди, средние значения составляют 1,4 и 2,0 мг/кг соответственно (Лукина и др., 2005). В зоне воздействия промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» в сосновой хвое увеличивается содержание меди, никеля и железа. Аккумуляция тяжелых металлов в ассимилирующих органах обусловлена как корневым и фолитарным поглощением, так и простым осаждением на поверхность растений из атмосферы. На всех обследованных пробных площадях по градиенту загрязнения от комбината концентрации серы в хвое в 1,5–3 раза превышают региональные фоновые значения, в 600 мг/кг (Сухарева, 2011). Высокое содержание серы выявлено как в непосредственной близости от комбината (5–7 км), так и на условно фоновых территориях (44 км).

Исследования на приграничной территории России, Норвегии и Финляндии в 2004 г. показали, что концентрации тяжелых металлов (меди и никеля) в зоне влияния комбината в хвое сосны значительно превышены на

Таблица 2.2. Элементный состав листьев березы в зоне влияния комбината, мг кг⁻¹ абс. сухого вещества

Расстояние от комбината (км)	Год	Ca	K	P	S	Mg	Mn	Al	Fe	Zn	Ni	Cu
5	1991	3735	8903	н.о.	н.о.	1476	551	92	560	149	110	53
	2004	5001	8517	2085	1349	2737	930	15	123	121	46	15
7	2000	6814	7782	2285	1794	2992	481	252	572	198	68	29
	2004	4770	6950	2210	1527	2378	385	68	264	120	62	20
12	1991	4068	8294	н.о.	н.о.	2337	787	109	424	117	49	30
	2000	6171	7587	2218	1664	2386	1291	39	132	172	48	14
	2004	5106	9695	2606	1525	2308	1026	20	204	129	46	22
14	1991	6076	8317	н.о.	н.о.	1917	1743	351	285	179	42	23
32	1991	5472	6384	н.о.	н.о.	2110	983	130	389	127	26	12
	2000	5943	6813	2437	1209	2686	1299	61	209	175	24	8
	2004	5506	7225	2297	962	2173	931	48	125	126	22	7
44	1991	4643	6596	н.о.	н.о.	1936	985	31	53	121	8	6
	2004	5695	7738	2790	964	2374	946	15	60	133	10	7

территории трех стран. На российской территории, в непосредственной близости от комбината, содержание никеля в однолетней хвое возрастает в 9 раз, меди – в 6 раз по сравнению с условно фоновыми значениями (44 км). На территории Норвегии концентрации никеля и меди возрастают в 1,5–9 раз относительно контроля. На финской территории в наиболее приближенной к источнику загрязнения точке отбора растительных образцов содержание никеля и меди – в 2,6–3 раза выше по сравнению с условным фоном. В однолетней хвое отмечены более высокие концентрации загрязняющих веществ, чем в хвое текущего года. Таким образом, хвоя сосны со временем накапливает все более высокие концентрации тяжелых металлов и серы, что впоследствии может приводить к изменениям ее питательного статуса (Сухарева, 2012).

Высокие концентрации железа и алюминия обнаружены как непосредственно вблизи комбината (3–5 км), так и на некотором удалении от источника (7–12 км).

Несмотря на высокую приспособляемость растений к конкретным условиям среды и способность к саморегулированию минерального состава, при сильном техногенном воздействии возникают нарушения и отклонения различного плана. Как правило, они связаны с выщелачиванием элементов питания из почвы и ассимилирующих органов, а также сопутствующее данному процессу избыточное поступление в растительный организм тяжелых металлов и серы. В результате в растении происходит изменение соотношения основных макро- и микроэлементов.

В условиях воздушного загрязнения увеличивается содержание кальция в хвое (табл. 2.2), что может быть связано с его активным поглощением из органического горизонта, где также выявлены более высокие концент-

рации данного элемента по сравнению с фоновыми значениями (Derome, 2008). Известно, что основным источником минерального питания бореальных растений с корневой стратегией питания является органический горизонт. Основная часть сосущих корней растений с корневой стратегией питания находится в этом горизонте либо непосредственно под ним, что позволяет «перехватывать» элементы питания, мигрирующие с почвенными водами (Лукина, Никонов, 1996). По-видимому, увеличение концентраций кальция в хвое сосны в данных условиях может также объясняться поглощением данного элемента из почвенных вод, сформированных в минеральных горизонтах, обогащенных благодаря специфике почвообразующих пород этим элементом.

Концентрация цинка в хвое, напротив, снижается. Снижение содержания цинка и увеличение концентраций никеля, меди и железа, вероятно, в значительной степени обусловлены проявлением известного антагонизма в парах: Zn–Ni, Zn–Cu, Fe–Zn. В условиях воздушного промышленного загрязнения почвы могут обедняться цинком в результате реакций замещения в почвенном поглощающем комплексе катионов цинка протонами и катионами тяжелых металлов, входящих в состав выбросов (Лукина, Никонов, 1996). Другой причиной обеднения хвои этим элементом является выщелачивание катионов металлов из листьев кислыми осадками.

На основе анализа однолетней хвои показано, что в исследуемом районе обеспеченность хвои фосфором и калием, как правило, опускается ниже уровня дефицита (Сухарева, 2012). Дефицитным уровнем для фосфора является уровень, когда его содержание в однолетней хвое не превышает 1,1–1,2 г/кг, калия – 4 г/кг (Huettl, 1993). Дефицитные уровни для данных элементов выявляются не только в непосредственной близости от

комбината, но и в условно фоновых районах, где обнаружен дефицит калия. Содержание магния остается либо сопоставимым с контролем, либо несколько превышает его, что может объясняться вариациями в составе почвообразующей породы.

Установлено, что в условиях сильного загрязнения концентрации фосфора и калия достигают уровня, определяемого для сосны обыкновенной как дефицитный. Недостаточная обеспеченность хвои сосны этими элементами обнаружена на территории трех стран: России, Норвегии, Финляндии.

В целом, исследование сосны обыкновенной показало, что в зоне влияния комбината происходит значительное увеличение в хвое элементов, преобладающих в составе выбросов (S, Ni, Cu, Fe). На основе листовой диагностики обнаружен дефицитный уровень калия и фосфора в хвое. Возможно, это связано с нарушением поглощения сосной данных элементов вследствие проявления антагонизма между кальцием и калием, кальцием и фосфором.

В настоящее время содержание тяжелых металлов в хвое сосны остается весьма высоким. За исследуемый период (1991–2011 гг.) на расстоянии 5–12 км от комбината выявлено увеличение содержания никеля, меди и железа в хвое сосны. На более удаленных от комбината пробных площадях концентрация меди и никеля в хвое в 2011 г. остались либо сопоставимыми (14 км), либо снизились в 2,5–3 раза (32 км) по сравнению с 1991 г., а содержание железа сократилось в 2–6 раза. На условно фоновой территории (44 км) содержание меди в хвое осталось на прежнем уровне – 4–6 мг/кг, а никеля возросло почти в 2 раза – с 6 до 11 мг/кг. На всех исследуемых пробных площадях в хвое возрастает содержание серы.

Важное диагностическое значение для определения состояния растений имеет их обеспеченность необходимыми для нормального функционирования макро- и микроэлементами в необходимых соотношениях. Нарушение баланса концентраций связано со способностью одного элемента ингибировать или стимулировать поглощение другого и имеет такое же значение для физиологических процессов, как и явление дефицита и токсичности (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

В 2011 г. в хвое обнаруживались более высокие концентрации кальция и марганца. Сосна, как известно, является пионерным видом, может поселяться на обнаженных субстратах и получать элементы питания из минеральных горизонтов. В окрестностях комбината, где формируются техногенные редколесья, почвообразующие породы, содержащие габбро и габбронориты, обо-

гащены основными катионами. Благодаря этому сосна в окрестностях комбината существенно не обедняется основными катионами и может содержать даже повышенные по сравнению с фоном концентрации кальция (Лукина, Никонов, 1998). Содержание калия в хвое за исследуемый период несколько снизилось, что может быть обусловлено антагонистическим взаимодействием данного элемента с кальцием.

Таким образом, сравнительная оценка элементного состава хвои, выполненная на основе данных 1991–2011 гг., выявила снижение концентраций никеля, меди, железа в ассимилирующих органах сосны на удаленных от комбината пробных площадях, в то время как вблизи локального источника сохраняются высокие уровни загрязняющих элементов в хвое.

Береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) является типичным древесным растением бореальных лесов. В отличие от хвойных деревьев исследования химического состава березы не столь многочисленны. Тем не менее, для данного вида можно отметить несколько характерных особенностей элементного состава. Ассимилирующие органы березы выделяются довольно высоким содержанием минеральных элементов, достигающим 5,2% в сухом веществе (Никонов, Лукина, 1994). Из зольных элементов преобладают кальций и калий. Известно, что береза является концентратором цинка (Gosz et al., 1973). В листьях березы на наших объектах исследования также обнаруживаются достаточно высокие концентрации цинка – 100–200 мг/кг.

Береза аккумулирует не только цинк, но и магний. Концентрации магния и цинка в березовых листьях значительно превышают таковые в хвое сосны (табл. 2.1, 2.2). В ненарушенных лесных биогеоценозах в фотосинтезирующих органах березы выявлено достаточно высокое содержание серы, которое варьирует от 900 до 1500 мг/кг. Концентрация железа в березе в 2–2,5 раза выше, чем в хвойных деревьях (Сухарева, 2011).

В условиях загрязнения в листьях березы наблюдается многократное увеличение концентрации тяжелых металлов. На территории России обнаружено возрастание никеля в 7–8 раз, меди – в 2–3 раза. На территории Норвегии концентрации данных металлов увеличиваются в 2–3 раза. Содержание серы в листьях березы возрастает на 30–60% (Сухарева, 2012). В условиях загрязнения химический состав ассимилирующих органов березы трансформируется. В листьях березы существенно возрастают концентрации элементов, входящих в состав выбросов медно-никелевого производства, прежде всего никеля, меди и серы. Вблизи источника загрязнения в листьях березы снижаются концентрации

Таблица 2.3. Элементный состав зеленых мхов в зоне влияния комбината, мг кг⁻¹ абс. сухого вещества

Расстояние от комбината (км)	Год	Ca	K	P	S	Mg	Mn	Al	Fe	Zn	Ni	Cu
5	2004	3349	6095	1682	1824	1612	572	213	1638	49	517	290
	2011	4041	7015	1322	1854	1706	367	207	1929	38	438	315
7	2011	5271	6185	1564	1603	1910	743	227	1698	38	404	356
12	2011	9273	7181	880	2106	1788	108	290	3516	69	673	441
	1991	5517	6891	н.о.	н.о.	1572	280	753	2924	37	138	97
14	2011	4817	6155	1032	1265	1318	509	232	985	35	239	182
	1991	3908	8011	н.о.	н.о.	2499	456	914	3271	52	105	75
32	1991	2340	5588	н.о.	н.о.	1097	255	194	375	21	34	22
	2004	1534	5173	1216	947	951	292	90	157	26	45	25
44	2011	2719	5707	1412	1159	1204	501	103	210	28	33	21

кальция, марганца, цинка и увеличиваются концентрации калия, железа, алюминия.

За исследуемый период (1991–2011 гг.) в листьях березы в непосредственной близости от комбината (5 км) концентрации никеля снизились в 2,4 раза, меди – в 3,4 раза. На остальных пробных площадях концентрации никеля и меди либо несколько снижаются, либо остаются сопоставимыми с уровнем 1991 г. Также отмечено заметное снижение содержания железа и алюминия. Содержание серы в листьях березы снизилось незначительно на расстоянии 7 и 12 км от комбината и достигло уровня условно фоновых показателей на расстоянии 32 км. В 2004 г. выявлены более высокие концентрации кальция, марганца и магния (5 и 12 км от комбината).

Сравнительный анализ химического состава ассимилирующих органов в 1991, 2000 и 2004 гг. показал, что концентрации основных поллютантов – серы и тяжелых металлов (Cu, Ni, Fe) – несколько снизились (табл. 2.2). Тем не менее, этого все еще недостаточно для оптимизации элементного состава растений на территориях, подверженных воздействию медно-никелевого производства.

Зеленые мхи. Из растений напочвенного покрова наиболее чувствительны к техногенному воздействию зеленые мхи и лишайники. Эти растения выполняют важную роль в формировании питательного режима бореальных лесов и создают своеобразный экран, эффективно поглощающий и надолго задерживающий элементы питания, поступающие из атмосферы (Лукина, Никонов, 1998).

Зеленые мхи являются растениями с большим содержанием минеральных элементов – 2,3–2,7% (Никонов, Лукина, 1994). Преобладающими являются калий и кальций (табл. 2.3). Для мхов также характерно высокое содержание фосфора, магния и серы.

В условиях атмосферного загрязнения зеленые мхи в большом количестве накапливают тяжелые металлы. По градиенту загрязнения от комбината содержание никеля и меди возрастает в 7–20 раз, железа – в 8–16 раз по сравнению с контролем (44 км). Высокая аккумуляционная способность мхов связана с тем, что на поверхности этих растений может происходить катионный обмен: основные катионы, входящие в состав зеленых мхов, могут обмениваться на катионы тяжелых металлов, т.е. мхи действуют подобно искусственным ионообменникам (Ruhling, Tyler, 1970). Содержание алюминия в зоне воздействия комбината в 2–9 раз выше, чем на условно фоновой территории. Концентрация серы на расстоянии 5–12 км от источника загрязнения превышает контрольные значения в 1,5–2 раза. Содержание других элементов питания (Ca, K, Mg, Zn) в зеленых мхах в условиях вблизи комбината также выше, чем на контрольной пробной площади.

Известно, что основными механизмами поглощения зелеными мхами минеральных элементов из окружающей среды являются улавливание взвешенных в атмосфере частиц с обменом ионов внутриклеточным поглощением, как и у лишайников, а также поглощение минеральных элементов из субстрата с помощью ризоидов (Рассеянные..., 2004).

Сравнительный анализ элементного состава зеленых мхов на тех пробных площадях, где образцы проб отбирали в 1991 и 2011 гг., показывает, что концентрации тяжелых металлов остаются высокими.

Лишайники. Лишайники также широко применяются в индикационных исследованиях при различных видах естественного и антропогенного загрязнения. Лишайникам, как и мхам, в отличие от сосудистых растений присуща атмосферная стратегия питания, что позволяет их использовать в качестве информативных биомониторов для оценки региональных атмосферных нагрузок

Таблица 2.4. Элементный состав лишайников в зоне влияния комбината, мг кг⁻¹ абс. сухого вещества

Расстояние от комбината (км)	Год	Ca	K	P	S	Mg	Mn	Al	Fe	Zn	Ni	Cu
5	2004	586	1600	881	640	545	78	136	994	24	232	147
12	1991	144	1830	н.о.	н.о.	438	46	399	1145	23	71	92
14	1991	116	1223	н.о.	н.о.	495	16	486	1180	30	69	62
	2004	286	1226	620	583	370	44	284	1029	26	126	98
	2011	346	1840	790	893	315	51	146	974	25	178	147
32	1991	766	н.о.	н.о.	н.о.	484	52	419	1189	19	50	33
44	1991	160	481	н.о.	н.о.	155	34	141	242	10	20	18
	2004	281	1433	663	351	202	29	43	146	15	24	14
	2011	393	1340	542	798	222	57	77	217	12	24	18

и миграции атмосферных загрязнителей (Puckett, 1988). При аэротехногенном воздействии лишайники заметно обогащаются элементами-загрязнителями по сравнению с другими видами растений. Это обусловлено тем, что обмен элементов у лишайников осуществляется через всю поверхность их талломов (Бязров, 2002).

Содержание химических элементов в лишайниках представлено в табл. 2.4. Из зольных элементов в талломе лишайника преобладает калий, концентрация которого в 2–3 раза выше, чем фосфора и кальция. В нарушенных сообществах в лишайниках содержание никеля и меди не превышает 2 мг/кг. В условиях загрязнения в лишайниках обнаруживаются концентрации никеля, меди и железа, многократно превышающие их фоновые показатели (Сухарева, 2011).

Анализ лишайников, отобранных в 1991 и 2011 гг. на пробной площади, расположенной в 14 км от источника загрязнения, показывает увеличение в 2011 г. содержания никеля и меди более чем в 2 раза (табл. 2.4). На контрольной пробной площади содержание этих тяжелых металлов осталось на уровне 1991 г. Содержание железа и серы в лишайниках сохраняется высоким. Лишайники меньше стали накапливать калия, магния, алюминия и цинка и, напротив, больше кальция и марганца.

Следует отметить, что степень аккумуляции тяжелых металлов лишайниками гораздо выше, чем у хвойных деревьев и кустарничков. Содержание никеля и меди в лишайниках в 3–8 раз выше, чем в листьях сосудистых растений (Сухарева, 2011). Выявлено, что трехкратное превышение содержания тяжелых металлов в слоевищах *Cladonia stellaris* свидетельствует о слабом уровне атмосферного загрязнения и не вызывает видимых повреждений лишайников и мохово-лишайникового яруса в целом (Динамика..., 2009). Возможно, повышенное содержание тяжелых металлов в данном случае обусловлено экстрацеллюлярным связыванием пылевидных частиц металлов, которое является пассивным, обратимым

физико-химическим процессом и рассматривается в качестве защитного механизма, предотвращающего поступление токсикантов внутрь клеток (Brown, 1987).

Таким образом, анализ данных за многолетний период в зоне воздействия промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» показал, что концентрации тяжелых металлов не снижаются, а остаются сопоставимыми или даже возрастают.

Обсуждение. Элементный состав ассимилирующих органов растений значительно трансформируется под влиянием такого мощного стрессового фактора как атмосферное загрязнение. В листьях растений существенно возрастают концентрации элементов, входящих в состав выбросов медно-никелевого производства (Ni, Cu, S). В зеленых мхах и лишайниках тяжелые металлы и сера аккумулируются в более высоких концентрациях по сравнению с ассимилирующими органами древесных растений.

Установлено, что в условиях сильного загрязнения концентрации фосфора и калия в хвое достигают уровня, определяемого для сосны обыкновенной как дефицитный.

Несмотря на сокращение объема выбросов диоксида серы комбинатом и позитивные изменения ряда параметров минерального питания, этого все еще недостаточно для восстановительной сукцессионной динамики и оптимизации минерального питания лесных растений. Накопленные десятилетиями в наземных экосистемах загрязнители и продолжающее токсическое влияние эмиссий, хотя и поступающих в атмосферу в меньшем объеме, препятствуют началу процесса восстановления сильно поврежденных и разрушенных экосистем, особенно вблизи локальных источников.

В условиях воздушного промышленного загрязнения соединениями серы и тяжелых металлов поглощение химических элементов растениями обусловлено нарушением питательного режима почв (обеднение элементами питания и обогащение поллютантами органогенного горизонта почв), выщелачиванием элементов питания из

хвои и фоллиарным поглощением загрязнителей, а также проявлением антагонизма между элементами и дисбалансом в поглощении элементов.

Позитивные изменения в элементном составе листьев березы, заключающиеся в снижении концентрации тяжелых металлов и серы, позволяют рассматривать данную древесную породу как наиболее устойчивую в условиях атмосферного загрязнения.

Наличие сети мониторинговых станций в зоне влияния медно-никелевых комбинатов позволяет проводить длительные наблюдения на значительной территории индустриально развитого региона, выявлять долговременные тренды трансформации качества природных сред, отклики биологических систем на различные виды антропогенного воздействия.

В качестве информативных биоиндикаторов атмосферного загрязнения лесных экосистем могут быть использованы ассимилирующие органы растений, которые весьма чутко реагируют на изменения условий произрастания. В дальнейшем будут продолжены исследования различных компонентов лесных экосистем в зоне влияния промышленных площадок «Никель» и «Заполярный», в том числе биогеохимических циклов элементов питания.

2.2.2. Влияние атмосферного промышленного загрязнения на элементный состав ягод дикорастущих кустарничков

Сбор и потребление лесных ягод – давняя традиция в России. Ягодные ресурсы Мурманской области до недавнего времени казались неисчерпаемыми. Постепенно с ростом населения и развитием промышленных предприятий региона возросла и нагрузка на эти чувствительные ресурсы. В последние годы значительно повысился интерес к ягодам со стороны заготовительных предприятий, так как для многих россиян сбор ягод это еще и способ получения дополнительных доходов.

Следствием влияния техногенного загрязнения на дикорастущие ягодники является изменение химического состава их вегетативных и генеративных органов. Накапливающиеся в листьях и плодах тяжелые металлы делают их непригодными для использования в качестве пищевого и лекарственного сырья. В связи с этим весьма важным является изучение химического состава ягод дикорастущих растений в зоне влияния промышленных выбросов с целью просвещения населения о том, о том, где и на каком расстоянии от источника загрязнения следует собирать. Металлы, в случае их повышенного содержания, могут оказывать токсичное действие как на растение, так и на человека. Содержание элементов

в различных частях растений зависит как от естественных геохимических особенностей окружающей среды, так и от антропогенного воздействия.

Существует представление о том, что загрязнение ягод тяжелыми металлами происходит преимущественно за счет извлечения растениями металлов в растворенной форме из загрязненной почвы. Известно также, что возможно осаждение пылевых металлосодержащих частиц на листовую пластинку с последующей ионизацией металла под воздействием листовых выделений или атмосферной влаги и поглощением ионов через устьица (Елпатьевский и др., 1985). Кроме того, листовые пластинки могут также орошаться металлосодержащими осадками или водой при таянии снега. Однако такие пути загрязнения ягод представляются маловероятными, так как ягода значительно лучше, чем лист, защищена от внешних воздействий (Баркан и др., 1990).

Установлено, что накопление тяжелых металлов в различных ягодах дикорастущих растений происходит по-разному, например, медь в ягодах черники и голубики больше концентрируется в кожице, а в ягодах брусники – в соке (Быкова, 1999). Накопление никеля в ягодах зависит от расстояния и расположения места сбора (Баркан и др., 1990; Лукина и др., 1992; Исаева, 2008; Barkan et al., 1998; Derome, Isaeva, 2008). Выявлено, что разница между достаточным и избыточным количеством металлов в растениях невелика, поэтому очень важно установить необходимые допустимые нормы их содержания в растительном сырье.

К настоящему времени предельно допустимые концентрации (ПДК) для большинства продуктов растительного происхождения разработаны, однако для дикорастущих ягод и лекарственного сырья они отсутствуют (Лесные экосистемы..., 1990; Дмитриев, 1991; Клемпер и др., 1993). Ориентировочно ПДК для ягод дикорастущих растений могут служить ПДК для овощей и фруктов (Предельно допустимые концентрации..., 1986; Габович, Припутина, 1987).

Элементному составу растительного и лекарственного сырья, листьев ягодных кустарничков посвящено много исследований (Влияние..., 1990; Лукина, Никонов, 1993, 1996, 1998; Мазная, Лянгузова, 1996; Белоногова, Литинская, 2001; Лавренов, Лавренова, 2003 и др.). Влияние и накопление поллютантов в ягодах дикорастущих растений изучено недостаточно.

Нами проведены исследования элементного состава ягод дикорастущих растений в природных условиях и под влиянием промышленного загрязнения.

Методы. Объект исследований – ягоды черники, брусники, вороники и морошки. Отбор образцов ягод

Таблица 2.5. Содержание тяжелых металлов в ягодах дикорастущих растений в зоне влияния комбината, мг·кг⁻¹ абс. сухого вещества

ППП	Направление от источника загрязнения	км	Ni	Cu	Cd	Pb	Co
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.							
N11	N	29	1,9	5,6	0,200	0,400	0,200
N 06	N	12	9,8	5,3	0,008	0,608	0,143
RUS 1	W	5	5,8	5,3	0,006	0,363	0,016
S 05	S	14	4,9	4,6	0,013	0,585	0,057
RUS 0	S	44	3,2	6,4	0,004	0,072	0,009
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.							
N 06	N	12	11,3	6,5	0,006	0,235	0,326
RUS 1	W	5	7,4	5,9	0,008	0,233	0,141
S 05	S	14	3,3	4,0	0,002	0,244	0,099
RUS 0	S	44	2,7	5,1	0,006	0,207	0,070
<i>Empetrum hermaphroditum</i> Hagerup							
N11	N	29	5,6	7,5	0,200	0,400	0,200
N 06	N	12	15,2	11,0	0,015	0,739	0,609
RUS 1	W	5	11,2	9,5	0,011	0,292	0,434
S 05	S	14	5,7	5,7	0,016	0,235	0,328
RUS 0	S	44	2,5	1,8	0,006	0,356	0,157
<i>Rubus chamaemorus</i> L.							
RUS 1	W	5	17,0	12,5	0,238	0,105	0,308
S 05	S	14	12,7	7,7	0,248	0,571	0,390
RUS 0	S	44	4,8	7,9	0,231	0,214	0,104

дикорастущих растений проводился в августе-сентябре 2004 г. на 5 (N11, N6, S5, RUS1, RUS0) мониторинговых площадках, расположенных на различном удалении от комбината (рис. 2.4). Всего было отобрано 18 проб ягод: брусники – 5, черники – 5, вороники – 5, морошки – 3, т.е. с каждой площадки одна смешанная проба. Ягоды сушились при комнатной температуре, перед сушкой не промывались. Содержание химических элементов (Ni, Cu, Cd, Pb, Co) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Результаты. Содержание тяжелых металлов в ягодах дикорастущих растений представлены в табл. 2.5 и 2.6.

Обсуждение. Выявлено, что на расстоянии 5 км от комбината (ближайшая точка исследований) плоды морошки содержат значительное количество никеля, меди и кадмия, черники – свинца, вороники – кобальта, по сравнению с другими ягодами. При приближении к комбинату концентрации никеля и меди в ягодах возрастают (табл. 2.5). Анализ данных по содержанию никеля и меди в плодах дикорастущих растений показал, что концентрации загрязнителей в ягодах черники, брусники и вороники в направлении севера увеличива-

Таблица 2.6. Среднее содержание тяжелых металлов в ягодах дикорастущих растений Мурманской области, мг·кг⁻¹ абс. сухого вещества

Элемент	M ± m	min	max
<i>Vaccinium myrtillus</i> L. – черника (n = 21)			
Ni	0,92 ± 0,12	0,50	3,20
Cu	8,39 ± 0,2	6,56	10,51
Cd	0,0025 ± 0,0002	0,001	0,005
Pb	0,088 ± 0,038	0,002	0,849
Co	0,002 ± 0,0006	0,0001	0,008
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L. – брусника (n = 21)			
Ni	0,92 ± 0,26	0,14	4,48
Cu	6,07 ± 0,45	3,96	9,60
Cd	0,003 ± 0,001	0,001	0,017
Pb	0,13 ± 0,03	0,03	0,61
Co	0,01 ± 0,003	0,0004	0,07
<i>Empetrum hermaphroditum</i> Hagerup – вороника (n = 21)			
Ni	1,11 ± 0,12	0,53	3,03
Cu	10,55 ± 0,5	7,72	16,52
Cd	0,002 ± 0,0002	0,002	0,004
Pb	0,09 ± 0,01	0,034	0,256
Co	0,02 ± 0,003	0,0004	0,044
<i>Rubus chamaemorus</i> L. – морошка (n = 3)			
Ni	3,17 ± 0,95	1,45	4,77
Cu	7,46 ± 0,85	5,80	8,62
Cd	0,21 ± 0,02	0,20	0,23
Pb	0,14 ± 0,07	0,07	0,21
Co	0,08 ± 0,02	0,05	0,10

ются и превышают таковое в направлении юга от комбината на расстояние до 12 км. Концентрации никеля в ягодах всех исследуемых дикорастущих растений, а также содержание меди в ягодах вороники (на расстоянии 12 км) и в ягодах морошки (5 км) превышают ПДК (Медиико-биологические..., 1989). Следует отметить, что ягоды, собранные на различном удалении от пл. «Никель» характеризуются большей частью концентрациями ТМ выше, чем средние показатели по региону (табл. 2.6). Это объясняется тем, что ягодные дикорастущие растения получают питательные вещества (включая ТМ) из почвы, а также происходит осаждение ТМ на растение и ягоды в виде пылевых частиц. Кроме того, растения имеют способность накапливать токсичные металлы в инертных частях растения (например, в одревесневших побегах), а также предотвращать накопление токсичных металлов в репродуктивных органах (семенах и ягодах), т.е. за счет защитного механизма растения содержание токсических металлов в плодах сокращается. Необходимо проводить постоянный мониторинг за состоянием и составом элементов в ягодах дикорастущих растений.

Литература

1. Баркан В.Ш., Панкратова Р.П., Силина А.В. Накопление никеля и меди лесными ягодами и грибами, произрастающими в окрестностях комбината «Североникель» (г. Мончегорск). // Растительные ресурсы. – 1990, вып. 4, с. 507–508.
2. Белоногова Т.В., Литинская Н.Л. Особенности накопления тяжелых металлов в лекарственном сырье и ягодах под влиянием выбросов автотранспорта // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001, с. 232–245.
3. Быкова А.Е. Экодиагностика съедобных грибов и ягод Мурманской области // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. Труды 4-й Всерос.науч.-практ. конф. – С-Пб: 1999, т. 3, с. 325.
4. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. – М.: Научный мир, 2002, 336с.
5. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова (под ред. Норина Б.Н. и Ярмишко В.Т.). – Л.: Ботан. ин-т АН СССР, 1990, 195 с.
6. Габович Р.Д., Припутина Л.С. Гигиенические основы охраны продуктов питания от вредных химических веществ. – Киев, 1987, 65 с.
7. Динамика лесных сообществ Северо-Запада России (под ред. В.Т. Ярмишко). – СПб.: ВВМ, 2009, 276 с.
8. Дмитриев С.В. Изучение влияния некоторых антропогенных факторов на качество сырья дикорастущих лекарственных растений. Автореф. дис... канд. биол. наук. – М., 1991, 19с.
9. Елпатьевский И.В., Аржанова В.С., Власов А.В. Взаимодействие растительности с потоком металлоносных аэрозолей // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л., 1985, с. 97–100.
10. Исаева Л.Г. Содержание тяжелых металлов в ягодах дикорастущих растений Мурманской области // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы всерос. конф. с международ. участием. Часть 1. – Апатиты, 2008, с. 84–89.
11. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989, 439 с.
12. Клемпер А.В., Листов С.А., Петров Н.В. Загрязнение лекарственного растительного сырья выбросами промышленных предприятий // Растительные ресурсы. – 1993, т. 29, вып. 4, с. 13–23.
13. Лавренов В.К., Лавренова Г.В. Энциклопедия лекарственных растений народной медицины. – СПб., 2003, 272 с.
14. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение (под ред. В.А. Алексеева). – Л.: Наука, 1990, 200 с.
15. Лукина Н.В., Кругликова Е.Н., Никонов В.В. Химический состав листьев и плодов ягодных кустарничков в условиях техногенного загрязнения // Эколого-географические проблемы Кольского Севера. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1992, с. 99–109.
16. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. В 2-х ч. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1996, ч. 1, 213 с.; ч. 2. 192 с.
17. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. – Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 1998, 316 с.
18. Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. – 1993, № 6, с. 34–41.
19. Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. – М.: Наука, 2005, 245 с.
20. Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994, 315 с.
21. Мазная Е. А., Лянгузова И. В. Репродуктивная способность *Vaccinium myrtillus* L. в условиях атмосферного загрязнения (Кольский п-в) // Растительные ресурсы. – 1996, т. 31, вып. 2, с. 16–25.
22. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. №5061-89. – М.: Минздрав СССР, 1989, ч. IV, 13 с.
23. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. СанПин 142-123-4089-86. – М., 1986, 265 с.
24. Программа «Пасвик». Общий отчет 2008: состояние окружающей среды в приграничном районе Норвегии, Финляндии и России. Корйјува Оу, Ювяскюля, 2008, 21 с.
25. Рассеянные элементы в бореальных лесах (под ред. А.С. Исаева). – М.: Наука, 2004, 616 с.
26. Сухарева Т.А. Изменения в минеральном составе растений при уменьшении эмиссионной нагрузки на лесные экосистемы // Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды. Материалы Международной конференции (Петрозаводск, 20–24 июня 2011 г.). – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011, с. 331–335.
27. Сухарева Т.А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях техногенного загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012, №3, с. 369–376.
28. Aamlid D. & Skogheim I. The occurrence of *Hypogymnia physodes* and *Melanla olovacea* lichens on birch stems in northern boreal forests influenced by local air pollution // *Norw. J. Geogr.* 55: 2001, pp. 94–98..
29. Aamlid D., Vassilieva N., Arrestad P.A., Gytarsky M., Lindmo S., Karaban R., Korotkov V., Rindal T., Kusmicheva V. & Venn K. Ecosystem monitoring in the border areas between Norway and Russia // *Boreal Env. Res.* 5: 2000, pp. 257–278..
30. Barcan V.Sh., Kovnatsky E.F., Smetannikova M.S. Absorption of heavy metals in wild berries and edible mushrooms in area affected by smelter emissions // *Water, Air and Soil Pollution*, 1998, vol. 103, pp. 173–195.
31. Brown D.H. The location of mineral elements in lichens, implication for metabolism/ *Bibliotheca Lichenologica*. 1987, vol. 25, pp. 361-375.
32. Derome J., Isaeva L. Heavy metal concentrations in forest berries and edible wild mushrooms in eastern Finnish Lapland and western parts of the Kola Peninsula (NW Russia) // Abstracts of 21st Task Force Meeting of the ICP Vegetation

- (26th–29th February 2008, Oulu, Finland). ICPVegetation-OF-Oulu-08, p. 5.
33. Derome J., Lindroos A.-J. & Niska K. Effects of SO₂ and heavy metal emissions from the Kola Peninsula, NW Russia, on soil acidity parameters in NW Russia and Finnish Lapland // *Scand. J. For. Res.* 13: 1998, pp. 421–428.
 34. Derome J., Aarrestad P.A., Aspholm P., Bakkestuen V., Bjerke J., Erikstad K., Gytarsky M., Hartikainen M., Isaeva L., Karaban R., Korotkov V., Kuzmicheva V., Lindgren M., Lindroos A.J., Myking T., Poikolainen J., Rautio P., Rosberg I., Salemaa M., Tommervik H., Vassilieva N. Current state of terrestrial ecosystems in the joint Norwegian, Russian and Finnish border area (Appendix 15) // *In the Finnish Environment: Rovaniemi, 2007b*, vol. 6; 2007, pp. 1–60.
 35. Gosz J.R., Likens G.E., Bormann F.N. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Forest. New Hampshire. *Ecol. Monogr.* 43, 1973, pp. 173–191.
 36. Huettl R.F. Mg deficiency – a «new» phenomenon in declining forests – symptoms and effects, causes, recuperation // *Forest Decline in the Atlantic and Pacific Region* / Huettl and Mueller. Dombois (Eds.). Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 1993, pp. 97–114.
 37. Isaeva L., Poikolainen J., Myking T., Derom J., Sukhareva T., Rautio P. Element concentration in plants // *Current state of terrestrial ecosystems in the joint Norwegian, Russian and Finish Border Area in Northern Fennoscandia*. Helsinki: Finish Forest Research Institute, 2008, pp. 50–64.
 38. Lukina N. & Nikonov V. Pollution-induced changes in nutritional status of pine forests on the northern tree line (Kola Peninsula). // *Disturbance and Recovery in Arctic Lands*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997, pp. 303–319.
 39. Odasz-Albrigtsen A.M., Tommervik H., & Murphy P. Decreased photosynthetic efficiency in plant species exposed to multiple airborne pollutants along the Russian-Norwegian // *Border*. *Canadian Journal of Botany*, 2000, vol. 78, pp. 1021–1033.
 40. Puckett K.J. Bryophytes and lichens as monitor of metal deposition // *Lichens, bryophytes and air quality* / Ed. T.H. Nash, V. Wirth. B.; Stuttgart, 1988, pp. 231–267.
 41. Reimann C., Äyräs, Chekushin V., Bogatyrev I., Boyd R., Caritat P., de Dutter R., Finne T.E., Halleraker J.H., Jæger Ø., Kashulina G., Lehto O., Niskavaara H., Pavlov V., Raisaen M.L., Strand T. & Volden T. *Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region*. 1998. NGU-GTK-CKE Special publication, Geological survey of Norway, Trondheim, 745 p.
 42. Ruhling A., Tyler G. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* // *Oikos*. 1970, vol. 21, pp. 92–97.
 43. SFT 2002. *Air pollution effects in the Norwegian-Russian border area*. Norwegian Pollution Control Authority, Oslo, 2002.
 44. Steinnes E., Likuna N., Nikonov V., Aamlid D. & Røyset O. A gradient study of 34 elements in the vicinity of a copper-nickel smelter in the Kola Peninsula // *Environ. Monit. Assessment* 60: 2000, pp. 71–88.
 45. Tikkanen E. and Niemela I. Kola Peninsula pollutants and forest ecosystems in Lapland // *The Lapland Forest Damage project*. Ministry of Agriculture and Forestry. 1995, 85 p.
 46. Tommervik H., Hogda K.A., Solheim I. Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS/TM data // *Remote Sensing of Environment*, 2003, vol. 85, issue 3, pp. 370–388.
 47. Tommervik H., Johansen B.E., Pedersen J.P. Monitoring the effects of air pollution on terrestrial ecosystems in Varanger (Norway) and Nikel-Pechenga (Russia) using remote sensing // *Science of The Total Environment*. 1998, vol. 160–161, pp. 753–767.
 48. Vassilieva N.P. Response of forest ecosystems to aerial emissions of «Pechenganikel» smelters complex // *Aerial pollution in Kola Peninsula: Proceedings of the international workshop, April 14–16, 1992*, St. Petersburg, Apatity: Kola Scientific Centre, 1993, pp.403–405.
 49. Vassilieva, N.P. Cartographic assessment of state and sensitivity of forest to air pollution from the Pechenganikel metallurgical works for critical load definition. 1992, pp.134–144.

3.1. Модель системного экологического мониторинга, объекты и методы исследований

В области геоэкологии, природопользования и охраны окружающей среды мониторинг рассматривают как постоянное наблюдение за каким-либо объектом (процессом) с целью выявления его соответствия исходному состоянию, действующим нормам и эталонам (Грин и др., 1995). Экологический мониторинг представляет собой систему сбора, обработки, хранения и распространения информации о природных экосистемах и их изменении в результате деятельности человека. Полученные в ходе мониторинга данные позволяют судить о состоянии объекта (процесса) в любой момент времени, строить модели, прогнозировать дальнейшее развитие. Одной из важных задач экологического мониторинга служит предоставление объективной информации о состоянии наземных экосистем для организации эффективного контроля, управления производством, минимизации негативного воздействия предприятий на окружающую среду.

В настоящее время мониторинг активно используется как метод проведения долговременных научных исследований и как система организации деятельности ученых разных специальностей для совместного изучения состояния экосистем. При всем разнообразии авторских подходов программы мониторинга имеют ряд общих особенностей, которые можно рассматривать в качестве требований к организации исследований: они ориентированы на выявление многолетней динамики; предполагают изучение состояния экосистем и факторов, его определяющих; предусматривают выбор модельных объектов, критериев и показателей, адекватно описывающих состояние экосистем; включают три обязательных этапа (наблюдение – контроль – прогноз и управление) (рис. 3.1).

Перечисленные выше требования легли в основу первой мониторинговой программы, разработанной в 1998–1999 гг. в заповеднике «Пасвик» и направленной на изучение состояния лесных экосистем на северном пределе их распространения в Европе. Один из раз-

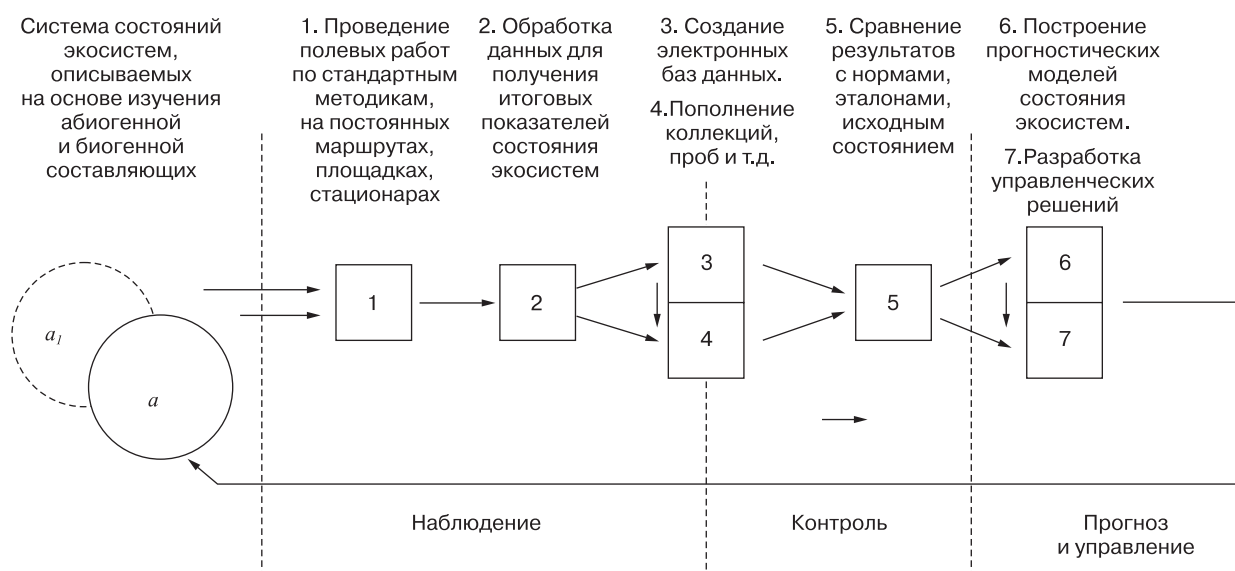


Рис. 3.1. Общая модель мониторинга (составлено по Грин А.М. и др., 1995).



Рис. 3.2. Орнитологические исследования в заповеднике «Пасвик» (фото О.А. Хлебосоловой)

делов программы, предусматривающий изучение состояния популяций птиц, был подготовлен исследовательской группой Рязанского государственного университета под руководством Е.И. Хлебосолова (рис. 3.2). В полевых исследованиях участвовали также научные сотрудники заповедника и других учреждений.

В процессе многолетнего мониторинга изучали фауну, видовую структуру населения и механизмы формирования и функционирования сообществ птиц, обитающих на данной территории (Хлебосолов и др., 2000; Летопись..., 2000–2005б; Красная книга..., 2003; Макарова и др., 2003; Птицы Пасвика, 2007). Основными объектами мониторинга были воробьинообразные птицы, как наиболее многочисленные, образующие основу биоценологических связей в сообществах и регистрируемые с помощью простых и достоверных методов (Бубличенко и др., 2005; Lambeck, 1997; Hunter, 1999; Carlsson, 2000; Angelstam etc., 2002). Среди них были выделены виды-индикаторы, наиболее чувствительные к различным изменениям: уменьшению площади пригодных местообитаний, смене растительного покрова, изменению освещенности, типов укрытий, кормовой базы и т.д. (Хлебосолов, 1999; Хлебосолов и др., 2000; Птицы Пасвика, 2007). В процессе мониторинга изучали также состояние факторов, определяющих видовое разнообразие птиц – структуру растительности в местообитаниях птиц и запасы доступной пищи.

Механизмы формирования и функционирования сообществ изучали с помощью сравнительного анализа структуры экологической ниши и характера биоцено-

логических связей птиц в природных экосистемах заповедника «Пасвик». Структуру экологической ниши птиц рассматривали в рамках концепции одномерной иерархической ниши, согласно которой ниша определяется как система, целостные свойства которой обусловлены характером выполняемой видом функции в экосистеме и выражаются в специфическом способе добывания пищи (кормовом поведении птиц). В связи с этим при изучении структуры экологической ниши птиц, в первую очередь, выявляли особенности их кормового поведения, которое является устойчивым, стереотипным видовым признаком, определяющим выбор птицами характерных микростаций, их биологическое и географическое распределение, состав пищи, тип социальной организации (Хлебосолов, 1993, 1996, 1999, 2005; Птицы Пасвика, 2007).

Отличительной особенностью данной программы стало теоретическое обоснование методов системного экологического мониторинга (Хлебосолов и др., 2000). В отличие от традиционных методов, направленных на изучение состояния отдельных элементов экосистем и их изменений во времени, системный экологический мониторинг предполагает оценку состояния экосистемы в целом, выявление иерархической системы связей, обеспечивающих ее функционирование. Изучение ведущих экологических факторов и характера их взаимосвязи на примере фоновых видов животных и растений позволяет организовать непрерывное наблюдение за экосистемой, фиксировать наиболее существенные изменения и оценивать ее состояние в любой момент времени.

Апробация программы осуществлялась в течение десяти лет (1998–2007 гг.). Результаты исследований опубликованы и подробно представлены в монографиях и статьях (Хлебосолов, 1996, 2005; Хлебосолов и др., 2000, 2005, 2006, 2008; Макарова и др., 2003; Птицы Пасвика, 2007).

Следует отметить, что постепенно район исследования расширялся: к 2006 г. он включал заповедник «Пасвик», биосферный полигон «Янискоски», национальный парк «Верхний Пасвик» (Норвегия) и обширную территорию, расположенную к северу и северо-западу от п. Никель и г. Заполярный.

В 2006 г. модель системного экологического мониторинга была впервые апробирована на территориях, расположенных в непосредственной близости от промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» Кольской горно-металлургической компании. Исследовательская группа Рязанского государственного университета под руководством Е.И. Хлебосолова и И.В. Зацаринного при участии сотрудников заповедника «Пасвик», разработала специальную программу по изучению влияния выбросов медно-никелевого производства на наземные экосистемы северо-запада Кольского полуострова (Отчет..., 2006).

Программа мониторинга предполагала проведение исследований на трех взаимосвязанных уровнях: (1) изучение биологического разнообразия сообществ и особенностей их функционирования; (2) выявление степени накопления загрязняющих веществ в организмах животных и растений; (3) изучение воздействия медно-никелевого производства на состояние почв, трансформацию коренных ландшафтов. Следует отметить, что по первому направлению (изучение биологического разнообразия) планировались ежегодные исследования в весенне-летний период, по остальным – один раз в пять лет.

Объектами мониторинговых исследований стали нарушенные экосистемы (участки пустошей на месте горно-березового редколесья в районе действия комбината) и естественные экосистемы (участки горно-березового редколесья на слабо загрязненных и условно незагрязненных территориях). Для изучения биологического разнообразия были выбраны модельные группы организмов, наиболее чувствительные к загрязнению и являющиеся доминантами и эдификаторами естественных экосистем (фоновые виды), выбраны методы их изучения. В ходе мониторинга проводились наблюдения за воробьинообразными птицами, паукообразными и насекомыми, обитающими на поверхности почвы, в травянисто-кустарничковом и древесно-кустарничковом

ярусах. Они представлены большим числом таксонов разного уровня, кроме того, небольшие изменения в состоянии экосистем заметно влияют на их численность и таксономический состав.

В соответствии с разработанной в 2006 г. программой, ежегодно проводились полевые исследования по стандартным методикам на постоянных маршрутах, площадках, стационарах одной или несколькими исследовательскими группами. Полученные данные обрабатывали с помощью статистических методов, сравнивали с результатами предыдущих исследований, а также между собой (по разным маршрутам, площадкам, стационарам), на основании чего делали выводы о современном состоянии и изменении наземных экосистем. Итоги работы за период с 2006 по 2011 гг. отражены в ежегодных отчетах (Отчет..., 2006–2011).

Мониторинговая сеть (расположение стационаров, учетных маршрутов, площадок)

Разработка схемы расположения стационаров, маршрутов и площадок проводилась на основании данных предыдущих исследований, посвященных изучению аэротехногенного загрязнения территории в районе действия комбината «Печенганикель», включая г. Заполярный и п. Никель и их окрестности (Отчет..., 2006; Хлебосолов и др., 2000; NILU F:13\1990; NORUT-viten, 1993; Rapport 522/1993, 543/1993). В ходе рекогносцировочных исследований была заложена серия разнонаправленных радиальных маршрутов от источника выбросов (промышленных площадок комбината) для выделения градиента местообитаний модельных групп организмов (от сильно поврежденных до практически неповрежденных).

В зонах сильного, умеренного и слабого загрязнения воздуха выбросами медно-никелевого производства были заложены стационары, учетные маршруты и площадки для проведения ежегодных мониторинговых исследований (рис 3.3). Места стационарных исследований выбирались таким образом, чтобы они находились в сходных по структуре экосистемах (участках горно-березового редколесья) и отражали объективную связь состояния экосистемы с уровнем загрязнения. Размер каждого стационара составлял около 9 км² (3 × 3 км). Размер стационаров выбирался таким образом, чтобы он включал полное разнообразие характерных стадий, и его территория позволяла провести репрезентативные учеты птиц, беспозвоночных животных и описание структуры растительности.

Для проведения экологического мониторинга в 2006 г. в зонах сильного, среднего и слабого загрязнения были



Рис. 3.3. Расположение стационаров.

заложены четыре стационара: «Никель», «Заполярный», «Гольфстрим», «Печенга» (рис. 3.4–3.7). На территории заповедника «Пасвик» был создан эталонный стационар «Север заповедника» (рис. 3.8). В 2007 г. была увеличена протяженность учетных маршрутов и заложены новые площадки по учету насекомых, отбору проб почв и растительности для химического анализа. В 2012 г. была заложена трансекта для описания степени трансформации ландшафтов по градиенту загрязнения. Однако, в целом мониторинговая сеть, представленная пятью стационарами, осталась неизменной, что позволяет проводить сравнительный анализ многолетних рядов данных.

Методы изучения состояния почв и растительности

В ходе рекогносцировочных работ 2006 г. по линии учетных маршрутов заполнялись бланки комплексного ландшафтного описания, закладывались и детально описывались почвенные профили (рис. 3.9). Подробное описание почв исследуемой территории приведено в соответствующем отчете (Отчет..., 2006).

В 2007 г. на каждом стационаре производился отбор почвенных проб. Закладка почвенных разрезов произ-

водилась в репрезентативных по геоморфологии, литологии, растительному покрову участках, образцы отбирались в 10 точках вдоль линии маршрута (Отчет..., 2007). Отбору подлежал верхний горизонт (грубогумусная подстилка), характеризующийся высокой способностью к аккумуляции поллютантов по сравнению с другими почвенными горизонтами и являющейся своеобразным геохимическим барьером на пути следования тяжелых металлов (Вологодина и др., 2006).

Подготовка почв к химическому анализу включала сушку, просеивание (через сито 2 мм), упаковывание образцов (вес каждой пробы составлял 15 г). Проведение химических анализов образцов почв осуществлялось в лаборатории ФГУ Государственная станция агрохимической службы «Мурманская». Данные химических анализов почвенных проб по каждому стационару приведены в отчете (Отчет..., 2007).

Одновременно с отбором почвенных образцов в 2007 г. проводилось изучение накопления поллютантов в растительности. На каждом стационаре осуществлялся отбор листовых пластинок березы (*Betula spp.*) и черники (*Vaccinium myrtillus L.*). Листовые пластинки помещались в специальные крафт-пакеты, высушивались, измельчались до порошкообразного состояния

Рис. 3.4. Стационар «Никель» (фото Н.В. Зуева).



Рис. 3.5. Стационар «Заполяный» (фото Н.В. Зуева).





Рис. 3.6. Стационар «Гольф-стрим» (фото Н.В. Зуева).



Рис. 3.7. Стационар «Печенга» (фото Н.В. Зуева).

Рис. 3.8. Стационар «Север заповедника» (фото Н.В. Зueva).



и упаковывались (вес каждой пробы составлял 20 г). Химико-аналитические исследования выполнены в Центре коллективного пользования (ЦКП) ИППЭС КНЦ РАН, который проходит ежегодное интеркалибровочное тестирование. Данные химических анализов проб растительности по каждому стационару приведены в отчете (Отчет..., 2007).

Методы изучения структуры местообитаний птиц и беспозвоночных животных

Согласно разработанной программе (Отчет..., 2006) сравнительный анализ структуры растительности, уровня биологического разнообразия беспозвоночных и позвоночных животных, позволяет дать оценку состояния наземных экосистем, проследить характер их изменений под действием естественных и антропогенных факторов. Для изучения уровня биологического разнообразия в пределах каждого стационара заполнялись бланки описания структуры местообитаний, проводились сборы беспозвоночных животных, обитающих в различных ярусах растительности, а также маршрутные учеты птиц (рис. 3.10).

Во время маршрутного учета отмечали границы разных типов местообитаний птиц и описывали их структуру, а также состояние различных факторов среды, влияющих на видовой состав, численность и пространственное распределение птиц в пределах выбран-

ных стационаров. Описание проводили в круге площадью 500 м². Для характеристики местообитаний птиц использовали следующие показатели: (1) название биоценоза; (2) древостой (ярус; виды, количество и высота деревьев; высота кроны, ее радиус и сомкнутость); (3) подрост (виды, количество и высота деревьев; высота и радиус кроны); (4) подлесок (кустарниковый ярус) (виды кустарников; % покрытия территории; средняя высота; характер распределения); (5) кустарничковый ярус (виды; обилие; характер распределения); (6) мохово-лишайниковый покров (виды; обилие; характер распределения); (7) травянистый ярус (виды; обилие; характер распределения; фенофаза).

При характеристике растительных сообществ (как среды обитания беспозвоночных животных) использовали стандартную методику геоботанических описаний (Неронов, 2004).

Методы учета беспозвоночных животных

Учеты беспозвоночных на территории каждого стационара проводили в пределах учетных площадок (рис. 3.11). Сбор почвенных беспозвоночных осуществлялся стандартным методом почвенных ловушек Барбера (Barber, 1931, Тихомирова, 1975). В пределах каждой учетной площадки функционировало от 10 до 40 ловушек, которые размещались равномерно в линию через каждые 10 м.



Рис. 3.9. Отбор проб растительности (фото Н.В. Зуева).

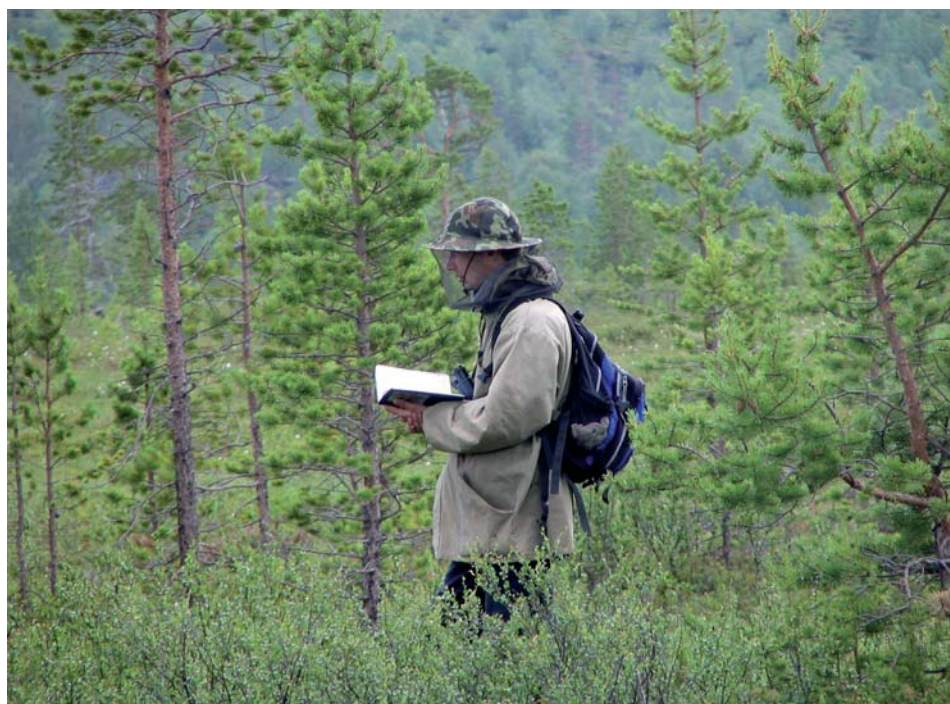


Рис. 3.10. Учеты птиц (фото Н.В. Поликарповой).

Рис. 3.11. Учеты беспозвоночных (фото Н.В. Поликарповой).



Отловы проводили также кошением стандартным энтомологическим сачком из мельничного газа по травянистому ярусу, кустарникам и деревьям. При определении насекомых использовали определительные таблицы (Определитель..., 1965; Плавильщиков, 1994 и др.). Более подробно методы учетов беспозвоночных обсуждаются в разделе 3.3.

Методы учета птиц

Воробьинообразных птиц учитывали в гнездовой период методом маршрутного учета без ограничения полосы обнаружения с расчетом плотности населения по средним дальностям обнаружения птиц (Равкин, Челинцев, 1990, 1999). Учетные маршруты протяженностью 7–10 км включали различные типы лесных, болотных и горно-тундровых местообитаний пропорционально их представленности на территории выделенных стационаров. Подробное описание методов учетов птиц представлено в разделе 3.2.

Методы анализа уровня биологического разнообразия

Для анализа уровня биологического разнообразия и структуры населения птиц и беспозвоночных животных на выбранных стационарах использовали общепринятые показатели (Мэгарран, 1992): (1) общее разнообразие сообществ; (2) показатель доминирования Симпсона;

(3) выравненность; (4) видовое богатство по Менхинику; (5) изменение меры видового богатства (индекс Маргалефа); (6) мера сходства сообществ по видовому составу (мера Жаккара) и по численности птиц (мера Серенсена). Они были использованы для сравнительного анализа данных по разным стационарам и приведены в ежегодных отчетах (Отчет..., 2006–2011).

Итоги мониторинга

Результаты системного экологического мониторинга, проводившегося в 2006–2012 гг. исследовательской группой Рязанского государственного университета (при участии сотрудников других учреждений), подробно представлены в следующих параграфах этой главы (3.2–3.6). Они содержат данные по основным модельным группам организмов, выбранным для оценки влияния выбросов медно-никелевого производства на наземные экосистемы северо-запада Кольского полуострова, и отражают многолетнюю динамику.

Следует отметить, что степень деградации наземных экосистем в районе действия промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» Кольской горно-металлургической компании определяется расстоянием от источника вредных выбросов. В непосредственной близости от комбината (на расстоянии до 5 км) за более, чем 75 лет его деятельности сформировались техногенные пустоши. Здесь функционируют сообщества, состоящие

из небольшого числа видов беспозвоночных и наземно-кормящихся птиц. В понижениях местности рядом с водными объектами, вокруг которых фрагментарно сохраняется растительный покров, видовой состав и численность животных меняются, возрастает биологическое разнообразие, на расстоянии 10–15 км от промышленных площадок негативное воздействие предприятия уже малозаметно. Здесь отмечена незначительная деградация растительного покрова, снижение видового разнообразия птиц и беспозвоночных животных по сравнению с контрольными участками, а также зарегистрировано превышение содержания загрязняющих веществ в верхнем горизонте почвы и растениях. На расстоянии 20–40 км от источников вредных выбросов отмечено высокое разнообразие сообществ растений и животных, что позволяет использовать их в качестве контрольных для описания состояния наземных экосистем. Кроме того, проведенные исследования показывают, что за период наблюдений (2006–2012 гг.) не отмечается ухудшения состояния наземных экосистем.

Итоги мониторинга дают основание для перспективного планирования дальнейших научных исследований. Среди наиболее важных направлений работ следует отметить:

1) проведение ежегодных исследований, направленных на оценку биологического разнообразия наземных экосистем, по стандартным методикам и маршрутам с целью продолжения многолетних рядов данных;

2) расширение мониторинговой сети на основе увеличения количества и длины учетных маршрутов, разнообразия методов учета беспозвоночных животных, закладки новых трансект для описания степени трансформации ландшафтов, создания новых стационаров (в том числе, стационара «Борисоглебский» в приграничной территории в зоне горно-березовых лесов);

3) изучение особенностей накопления вредных веществ в организмах растений и животных (на примере низших и высших растений, беспозвоночных и позвоночных животных).

Работа по этим направлениям позволит получать репрезентативные данные и выявлять тонкие изменения в структуре и функционировании наземных экосистем, уточнять границы зон загрязнения, осуществлять моделирование состояния экосистем района исследований.

Источники

1. Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г., Романюк Б.Д. Критерии оценки биоразнообразия позвоночных животных. – СПб, 2005, 52 с.

2. Вологодина Ж.В., Копцик Г.Н., Караванова Е.И. Основные закономерности и особенности поглощения меди подзолами Кольского полуострова // Вестн. Моск. Ун-та, сер. 17 – почвоведение. – 2006, № 2, с. 32–40.
3. Грин А.М., Клюев Н.Н., Мухина Л.И. Геоэкологический анализ // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1995, № 1, с. 21–30.
4. Красная книга Мурманской области. [Андреева В.Н. и др., ред.]. – Мурманск: Кн. изд-во, 2003, 400 с.
5. Летопись природы заповедника «Пасвик»: Кн. 5: 1998 г. / Сост. О.А.Макарова. – Мурманск: НИЦ Пазори, 2000, 138 с.
6. Летопись природы заповедника «Пасвик»: Кн. 6: 1999 г. / Сост. О.А.Макарова. – Мурманск: НИЦ Пазори, 2001, 109 с.
7. Летопись природы заповедника «Пасвик»: Кн. 7: 2000 г. / Сост. О.А.Макарова. – Рязань, 2003а, 148 с.
8. Летопись природы заповедника «Пасвик»: Кн. 8: 2001 г. / Сост. О.А.Макарова. – Рязань, 2003б, 147 с.
9. Летопись природы заповедника «Пасвик»: Кн. 9: 2002 г. / Сост. О.А.Макарова. – Рязань, 2005а, 149 с.
10. Летопись природы заповедника «Пасвик»: Кн. 10: 2003 г. / Сост. О.А.Макарова. – Рязань, 2005б, 182 с.
11. Макарова О.А., Бианки В.В., Хлебосолов Е.И., Катаев Г.Д., Кашулин Н.А. Кадастр позвоночных животных заповедника «Пасвик». – Рязань: НП «Голос губернии», 2003, 72 с.
12. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. – М., 1992, 184 с.
13. Неронов В.В. Полевая практика по геоботанике в средней полосе Европейской России. – М.: ВВФ, 2004, 176 с.
14. Определитель насекомых Европейской части СССР в пяти томах под редакцией Г.Я. Бей-Биенко. Том 2: Жесткокрылые. – Москва-Ленинград: Издательство Наука, 1965.
15. Отчет о научно-исследовательской работе «Экологическая оценка природной среды в районе действия комбината «Печенганикель», включая г. Заполярный и пгт. Никель и их окрестности, в том числе территорию Государственного природного заповедника «Пасвик», и разработка схемы долговременного мониторинга». – Раякоски, 2006, 122 с. Архив заповедника «Пасвик».
16. Отчет о научно-исследовательской работе «Экологическая оценка природной среды в районе действия комбината ОАО «Кольская ГМК» (промплощадки Никель и Заполярный и их окрестности), в том числе территорию Государственного природного заповедника «Пасвик», и апробация программ экологического мониторинга». – Раякоски, 2007, 102 с. Архив заповедника «Пасвик».
17. Отчет о научно-исследовательской работе «Экологическая оценка природной среды в районе действия комбината ОАО «Кольская ГМК» (промплощадки Никель и Заполярный и их окрестности), в том числе территорию Государственного природного заповедника «Пасвик», и апробация программ экологического мониторинга». – Раякоски, 2008, Архив заповедника «Пасвик».
18. Отчет о научно-исследовательской работе «Экологическая оценка природной среды в районе действия комбината ОАО «Кольская ГМК» (промплощадки Никель и Заполярный и их окрестности), в том числе территорию Государственного природного заповедника «Пасвик», и апробация программ экологического мониторинга». – Раякоски, 2009, Архив заповедника «Пасвик».

19. Отчет о научно-исследовательской работе «Экологическая оценка природной среды в районе действия комбината ОАО «Кольская ГМК» (промплощадки Никель и Заполярный и их окрестности), в том числе территорию Государственного природного заповедника «Пасвик», и апробация программ экологического мониторинга». – Раякоски, 2010, Архив заповедника «Пасвик».
20. Отчет о научно-исследовательской работе «Экологическая оценка природной среды в районе действия комбината ОАО «Кольская ГМК» (промплощадки Никель и Заполярный и их окрестности), в том числе территорию Государственного природного заповедника «Пасвик», и апробация программ экологического мониторинга». – Раякоски, 2011, Архив заповедника «Пасвик».
21. Плавильщиков Н.Н. Определитель насекомых: краткий определитель наиболее распространенных насекомых европейской части России. – М., 1994, 544 с.
22. Птицы Пасвика / Е.И. Хлебосолов, О.А. Макарова, О.А. Хлебосолова и др. – Рязань: НП «Голос губернии», 2007, 176 с.
23. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. – М., 1990, с.1–33.
24. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по маршрутному учету населения птиц в заповедниках // Организация научных исследований в заповедниках и национальных парках. – М., 1999, с.143–155.
25. Тихомирова А.Л. Учет папочвенных беспозвоночных // Методы почвенно-зоологических исследований. – М.: Наука., 1975, с. 73–85.
26. Хлебосолов Е.И. Кормовое поведение как видовая характеристика птиц // Зоологический журнал. – 2005, т. 84, № 1, с. 52–62.
27. Хлебосолов Е.И. Обоснование модели одномерной иерархической ниши у птиц // Успехи современной биологии. – 1996, т. 116, вып. 4, с. 447–462.
28. Хлебосолов Е.И. Стереотип кормового поведения птиц // Успехи современной биологии. – 1993, т. 113, вып. 6, с. 717–730.
29. Хлебосолов Е.И. Экологические факторы видообразования у птиц. – М.: Горизонт, 1999, 284 с.
30. Хлебосолов Е.И., Хлебосолова О.А. Роль природно-климатических факторов в формировании структуры экологической ниши и повышения видового разнообразия животных // Экология, эволюция и систематика животных. – Рязань, 2005, с. 7–13.
31. Хлебосолов Е.И., Хлебосолова О.А., Кушель Ю.А., Макарова О.А. Методы системного экологического мониторинга. – Рязань: Рязанский обл. ин-т развития образования, 2000, 70 с.
32. Хлебосолов Е.И., Поликарпова Н.В., Хлебосолова О.А., Зацаринный И.В., Трушицына О.С., Зуев Н.В. Экологический мониторинг состояния природной среды в районе действия ОАО «Кольская ГМК» (промплощадки «Никель» и «Заполярный» и территории заповедника «Пасвик») // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы всерос. конф. с международ. участием. Часть 1. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008, С. 168–173.
33. Хлебосолов Е.И., Хлебосолова О.А., Макарова О.А., Поликарпова Н.В. Структура населения птиц в горных экосистемах северо-запада Кольского полуострова // Экология, эволюция и систематика животных. – Рязань, 2006, с. 22–30.
34. Angelstam P., Breuss M., Mikusinski G., Stenstrom M., Stighall K., Thorell D. Effects of forest structure on the presence of woodpeckers with different specialization in a landscape history gradient in NE Poland // Avian Landscape Ecology. IALE (UK). – 2002, pp. 25–38.
35. Carlsson A. The effect on habitat loss on a deciduous forest specialist species: White-backed Woodpecker *Dendrocopos leucotos* // Forest Ecology and Management. – 2000, 131 (1–3), pp. 215–221.
36. Hunter M.L. (ed.). Maintaining biodiversity in forest ecosystems. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999, 698 p.
37. Lambeck R.J. Focal species define landscape requirements for nature conservation // Conservation Biology. – 1997, 11, pp. 849–856.
38. NORUT – viten. №1, June 1993, Tromso, Norway.

3.2. Оценка состояния наземных экосистем по данным биологического мониторинга (на примере воробьинообразных птиц)

При оценке биологического разнообразия и состояния природных сообществ часто бывает трудно, а порой и невозможно, установить численность и описать процессы, происходящие в популяциях всех видов животных, населяющих данную территорию. Поэтому обычно выделяют виды, наиболее чувствительные к изменениям окружающей среды (уменьшению площади пригодных местообитаний, смене растительного покрова, кормовой базы и т.д.). Такие виды получили название видов-индикаторов. Сравнительный анализ состояния популяций животных на участках, подверженных активной хозяйственной деятельности человека и относительно не затронутых ею, позволяет выделить критерии уровня нарушения среды обитания. Изучение и мониторинг популяций видов-индикаторов способствует четкой и быстрой оценке степени антропогенной трансформации естественной структуры биологических систем. К числу удобных видов-индикаторов состояния лесных экосистем относятся птицы, в первую очередь, представители отряда воробьинообразных. Они многочисленны, образуют основу биоценологических связей в природных сообществах, играют важную роль в функционировании экосистем, хорошо заметны, их можно учитывать с помощью простых и достоверных методов (Lambeck, 1997; Hunter (ed.), 1999; Carlsson, 2000; Angelstam et al., 2002; Бубличенко и др., 2005).

Материалы и методы исследования

Работы проводились на территории Печенгского района Мурманской области. Обследованы долинные березовые леса заповедника «Пасвик» (стационар «Север заповедника»), зона березового криволеся севернее и восточнее границ распространения сосновых лесов (в окрестностях п. Никель, г. Заполярный, п. Печенга). Птиц учитывали в гнездовой период методом маршрутного учета без ограничения полосы обнаружения птиц (Равкин, Челинцев, 1990, 1999). На территории выделенных стационаров учетные маршруты закладывали пропорционально представленности различных типов местообитаний.

В качестве меры количественного обилия того или иного вида птиц использовался показатель «встречаемость» (пар/км). В ходе выполнения расчетов по обилию птиц принято допущение, что каждый встреченный поющий самец имеет пару. Учеты птиц проводили ежегодно в 2006–2011 гг. Всего по маршрутам пройдено 236,6 км.

Для получения сведений о многолетних тенденциях изменения структуры населения птиц на стационарах весь период исследования условно подразделен на два этапа: первый (2006–2008 гг.) – период установления видового состава и структуры населения птиц; второй (2009–2011 гг.) – период отслеживания изменения видового состава и структуры населения птиц.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования показали, что наиболее сложную структуру населения птиц среди разных типов березовых лесов северо-запада Кольского полуострова имеют долинные березовые леса («Север заповедника»). Среди воробьинообразных птиц фоновыми здесь являются пеночка-весничка (*Phylloscopus trochilus*), юрок (*Fringilla montifringilla*), обыкновенная чечетка (*Acanthis flammea*), белобровик (*Turdus iliacus*), обыкновенная горихвостка (*Phoenicurus phoenicurus*) и рябинник (*Turdus pilaris*). В число видов птиц, обычно встречаемых в березовых лесах по долинам рек и крупных ручьев, входят сорока (*Pica pica*), серая ворона (*Corvus corone*), ворон (*Corvus corax*), свиристель (*Bombicilla garrulus*), певчий дрозд (*Turdus philomelos*), серая мухоловка (*Muscicapa striata*) и большая синица (*Parus major*). Сравнительно реже встречаются кукушка (*Perisoreus infaustus*), мухоловка-пеструшка (*Ficedula hypoleuca*), сероголовая гаичка (*Parus cinctus*) и снегирь (*Pyrrhula pyrrhula*). Очень редко – поющие самцы таловки (*Phylloscopus borealis*). В непосредственной близости от водотоков (рек и ручьев) обычны варакушка (*Luscinia*

svecica) и камышовая овсянка (*Emberiza schoeniclus*), а по береговой линии – белая (*Motacilla alba*) и желтая (*M. flava*) трясогузки (Зацаринный и др., 2012).

Орнитофауна зоны березового криволеся севернее и восточнее границ распространения сосновых лесов (окрестности п. Никель, г. Заполярный, п. Печенга) четко дифференцирована в зависимости от степени антропогенной трансформации исходных экосистем. В лесных экосистемах, испытавших воздействия пожаров и выбросов промышленных предприятий в 80–90-х годах XX в., сохраняется фоновый видовой состав птиц, но несколько снижается их количественное обилие, и ниже в целом видовое разнообразие птиц, что связано с особенностями структуры данных лесных сообществ. В то же время, по мере прохождения сукцессионных процессов восстановления структуры пострадавших березовых лесов, отмечается постепенное увеличение численности фоновых видов птиц и появление «новых» видов, характерных для ненарушенных лесных экосистем (Зацаринный и др., 2012).

В березовых лесах, наиболее пострадавших под воздействием трансформирующих факторов (окрестности п. Никель и г. Заполярный), фоновыми видами являются пеночка-весничка, обыкновенная чечетка, юрок и белобровик. Варакушка и камышовая овсянка здесь населяют участки с развитой кустарниковой растительностью вдоль водотоков и по окраинам болот. На участках с нарушенной структурой напочвенного покрова обычны каменка (*Oenanthe oenanthe*) и белая трясогузка, редок лапландский подорожник (*Calcarius lapponicus*). Березовые леса данного района также населяют ворон, серая ворона, свиристель, рябинник, горихвостка (Зацаринный и др., 2012).

Лесные экосистемы, находящиеся в 15–20 км от промышленных предприятий и менее пострадавшие от различного рода воздействий, обладают более разнообразной орнитофауной. Здесь помимо перечисленных видов птиц встречаются лесной конек (*Anthus trivialis*), певчий дрозд, мухоловка-пеструшка, большая синица, сероголовая гаичка, обыкновенный клест (*Loxia curvirostra*) и обыкновенная зеленушка (*Chloris chloris*). Неежегодно встречаются поющие самцы теньковки (*Phylloscopus collybita*) и таловки (Зацаринный и др., 2012).

Березовые леса, не испытавшие трансформирующего воздействия (окрестности п. Печенга), имеют наиболее сложную структуру орнитофауны в зоне березового криволеся. Здесь встречаются практически все виды птиц, характерные для предыдущих районов данной природно-климатической зоны, за исключением некоторых, в целом очень редких для данных мест, видов.

Рис. 3.12. Изменение количества видов воробьинообразных птиц на стационарах (суммарно все типы местообитаний) ($r = +0.84$). Обозначения: штриховые линии – линии трендов, y – уравнение линии тренда, R^2 – величина достоверности аппроксимации.

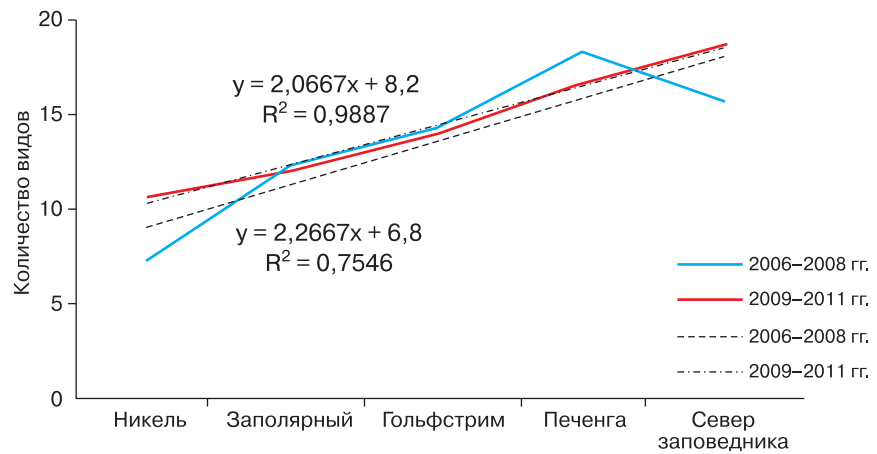
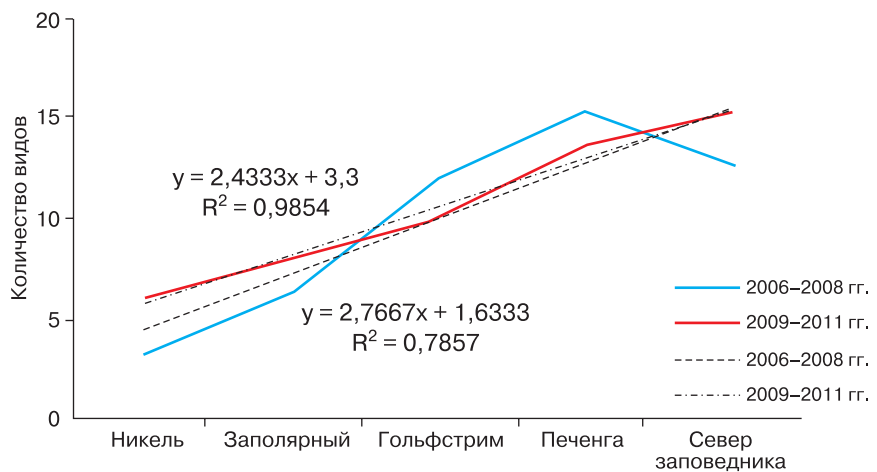


Рис. 3.13. Изменение количества видов воробьинообразных птиц в березовых лесах на стационарах ($r = +0.89$). Условные обозначения приведены на рис. 3.12.



В фауне лесных воробьинообразных птиц этого района появляются сорока, черный дрозд (*Turdus merula*), буроголовая гаичка (*Parus montanus*), чиж (*Spinus spinus*) и снегирь. Не ежегодно регистрируются встречи поющих самцов синехвостки (*Tarsiger cyanurus*) (Зацаринный и др., 2012).

Комплексный анализ фауны и структуры населения птиц всех обследованных районов показывает, что наибольшее видовое разнообразие птиц зарегистрировано на стационарах «Печенга» и «Север заповедника», находящихся на значительном расстоянии от производственных мощностей комбинатов (рис. 3.12–3.13). В пределах этих стационаров структура населения птиц соответствует типичной структуре населения птиц березовых лесов севера Европейской части России. Некоторые отличия в видовом разнообразии этих двух территорий связаны с различиями в структуре самих типов местообитаний птиц, в первом случае – березовые кривоветсы, во втором – долинные березовые леса (рис. 3.12–3.13).

Наименьшее видовое разнообразие птиц отмечено на стационарах «Никель» и «Заполярный», находящихся в непосредственной близости от предприятий. Стационар «Гольфстрим» по видовому разнообразию птиц занимает промежуточное положение между стационарами, расположенными рядом с производственными мощностями и стационарами, находящимися на максимальном удалении от предприятий.

Обозначенные выше тенденции отчетливо проявляются и в количественных характеристиках населения птиц (рис. 3.14–3.15). Наибольшее количество птиц зарегистрировано на стационарах «Печенга» и «Север заповедника», наименьшее – на стационарах «Никель» и «Заполярный».

Сравнительный анализ тенденций (линии тренда), отражающих изменения обилия птиц в 2009–2011 гг. (по отношению к 2006–2008 гг.), показывает (рис. 3.12–3.13), что на всех стационарах происходят синхронные изменения, вне зависимости от близости площадки к производ-

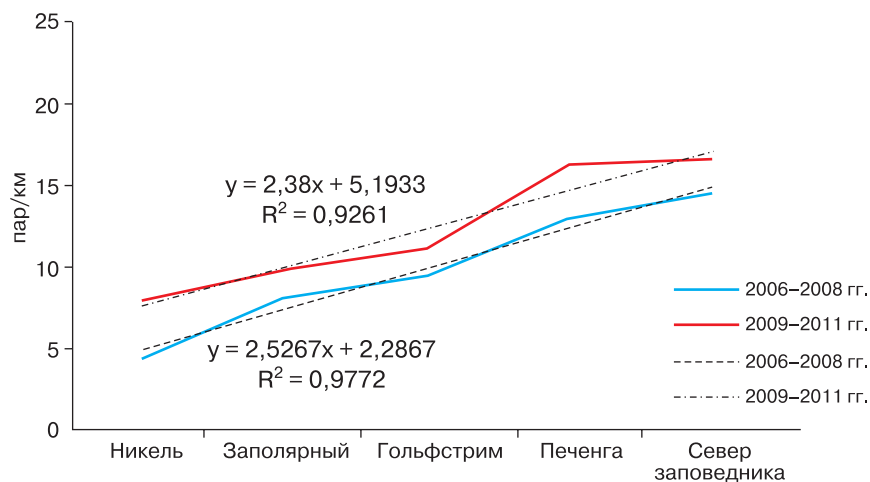


Рис. 3.13. Изменение обилия воробьинообразных птиц на стационарах (суммарно все типы местообитаний) ($r = +0.97$). Условные обозначения приведены на рис. 3.12.

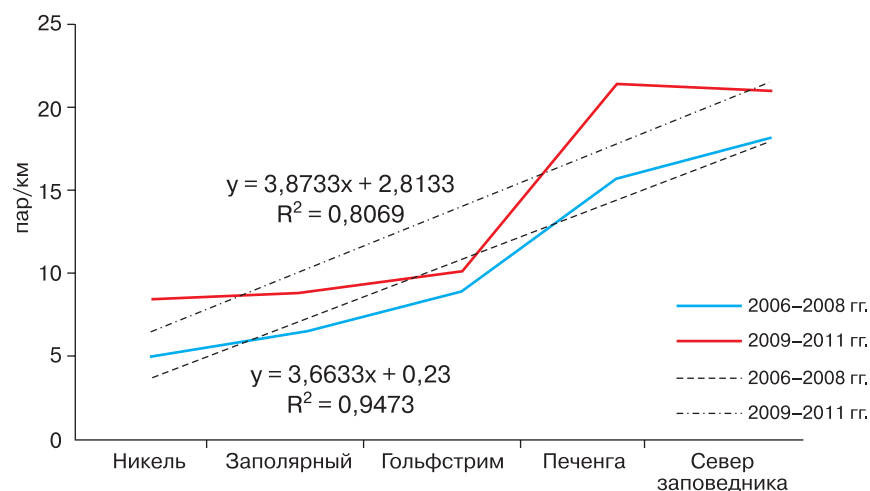


Рис. 3.14. Изменение обилия воробьинообразных птиц в березовых лесах на стационарах ($r = +0.97$). Условные обозначения приведены на рис. 3.12.

ствам. Наблюдаемое в 2009–2011 гг. увеличение обилия птиц вызвано естественными причинами, которые вероятнее всего связаны с сукцессионными и климатическими изменениями, происходящими на данной территории.

Известно, что процессы трансформации тех или иных экосистем четко отражаются в изменении структуры населения фоновых видов птиц. На севере Европейской части России к таким модельным видам в лесных экосистемах можно отнести пеночку-весничку, юрка и дрозда-белобровика (Хлебосолов и др., 2000, 2007). Первые два вида (пеночка-весничка и юрок) в экологической классификации птиц леса относятся к насекомоядным птицам, кормящимся в кронах деревьев и кустарников. Белобровик – к птицам, кормящимся на земле (Хлебосолов и др., 2000, 2007). Известно, что на северо-западе Кольского полуострова весничка достигает максимальной плотнос-

ти в чистых березовых лесах. Юрок населяет различные типы лесов, но наиболее часто встречается в хвойных. Белобровик предпочитает лесные станции с хорошо развитым мохово-лишайниковым напочвенным покровом (Хлебосолов и др., 2007).

Анализ графиков распределения обилия этих трех видов птиц (рис. 3.16–3.17) в березовых лесах на разных стационарах показывает, что по мере увеличения расстояния от предприятий возрастает обилие птиц. Изменение плотности населения всех трех видов в 2009–2011 гг. в целом повторяет описанную ранее тенденцию. Практически на всех стационарах изменения происходят синхронно. За период наблюдений на стационарах, близко расположенных к предприятиям (стационары «Никель» и «Заполярный»), не отмечено сокращения количественного обилия фоновых видов птиц.

Рис. 3.15. Изменение обилия пеночки-веснички в березовых лесах на стационарах ($r = +0.98$). Условные обозначения приведены на рис. 3.12.

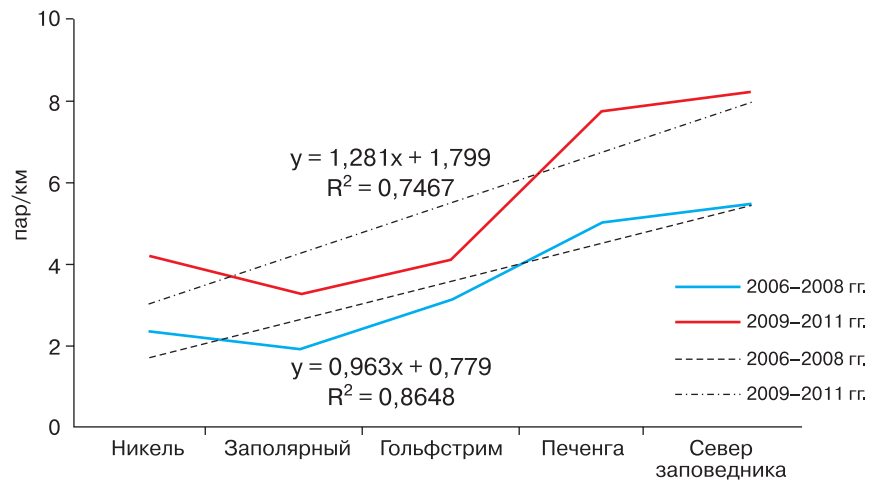


Рис. 3.16. Изменение обилия юрка в березовых лесах на стационарах ($r = +0.96$). Условные обозначения приведены на рис. 3.12.

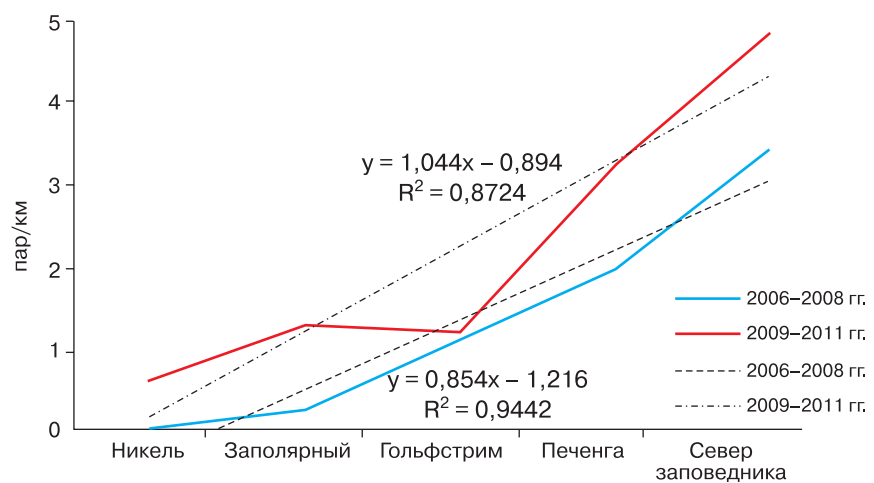
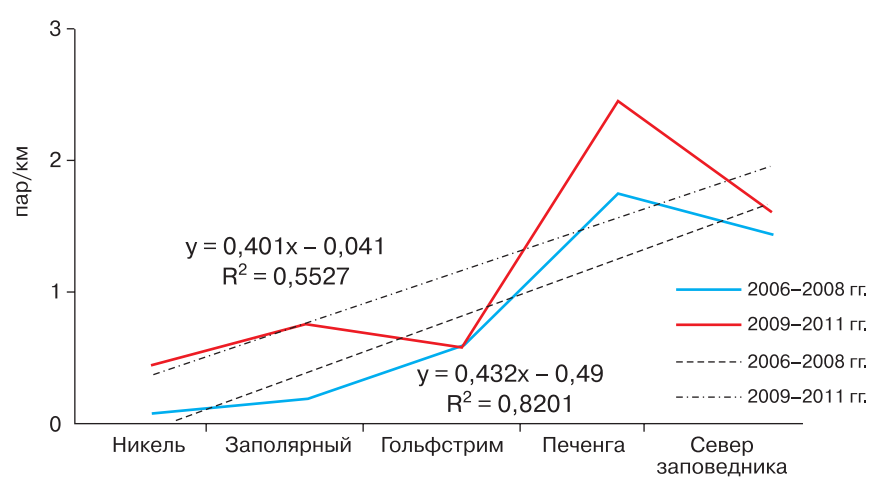


Рис. 3.17. Изменение обилия белобровика в березовых лесах на стационарах ($r = +0.94$). Условные обозначения приведены на рис. 3.12.



Заключение

Результаты орнитологических исследований показывают неоднородность структуры населения птиц на стационарах, расположенных на различном расстоянии от предприятий. Рядом с производственными мощностями (стационары «Никель» и «Заполярный»), различия в структуре орнитофауны обусловлены, прежде всего, отличиями в биотопической приуроченности птиц. Наименьшее количество видов встречается на пустошах. Так, например, на стационаре «Никель» фауна воробьинообразных птиц в 2006–2011 гг. в данном типе местообитаний была представлена тремя видами. На участках стационара с сохранившимися березовыми лесами фауна птиц более разнообразна и включает шесть видов птиц.

Известно, что формирование пустошей происходило под влиянием нескольких основных факторов: 1) воздействие выбросов предприятий, которое привело к усыханию растительности; 2) пожаров и последовавших за ними процессов водной и ветровой эрозии. Повидимому, именно на выгоревших участках сформировались в дальнейшем пустоши, а на остальных участках фрагментарно сохранились березовые редколесья. Здесь отмечается фоновый видовой состав птиц, однако из-за разреженности древостоев и изменений кустарникового яруса и напочвенного покрова видовое и количественное обилие птиц относительно невелико.

Сравнительный анализ состава фауны и обилия птиц березовых лесов разных стационаров свидетельствует о том, что по мере увеличения расстояния от предприятий возрастает количество видов и плотность населения птиц. Уже на расстоянии 15–18 км («Печенга», «Север заповедника») сохраняется типичная для березовых лесов структура населения птиц.

Анализ многолетней динамики изменения обилия птиц показывает, что за период 2009–2011 гг. практически на всех стационарах произошло увеличение количества птиц по сравнению с 2006–2008 гг., что обусловлено происходящей естественной трансформацией лесных экосистем всего северо-запада Кольского полуострова и сукцессионными изменениями отдельных типов местообитаний птиц.

Источники

1. Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г., Романюк Б.Д. Критерии оценки биоразнообразия позвоночных животных. – СПб, 2005, 52 с.
2. Зацаринный И.В., Булычева И.А., Собчук И.С., Косякова А.Ю. Орнитофауна березовых лесов северо-запада Кольского полуострова // Экология, эволюция и систематика животных. Материалы Международной научно-

практической конференции. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. С. 258–259.

3. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. – М., 1990, с. 1–33.
4. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по маршрутному учету населения птиц в заповедниках // Организация научных исследований в заповедниках и национальных парках. – М., 1999, с. 143–155.
5. Хлебосолов Е.И., Хлебосолова О.А., Кушель Ю.А., Макарова О.А. Методы системного экологического мониторинга. – Рязань: Рязанский обл. ин-т развития образования, 2000, 70 с.
6. Хлебосолов Е.И., Макарова О.А., Хлебосолова О.А. и др. Птицы Пасвика – Рязань: НП «Голос губернии», 2007, 176 с.
7. Angelstam P., Breuss M., Mikusinski G., Stenstrom M., Stighall K., Thorell D. Effects of forest structure on the presence of woodpeckers with different specialization in a landscape history gradient in NE Poland // Avian Landscape Ecology. IALE (UK). – 2002, pp. 25–38.
8. Carlsson A. The effect on habitat loss on a deciduous forest specialist species: White-backed Woodpecker *Dendrocopos leucotos* // Forest Ecology and Management. – 2000, 131 (1–3), pp. 215–221.
9. Hunter M.L. (ed.). Maintaining biodiversity in forest ecosystems. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999, 698 p.
10. Lambeck R.J. Focal species define landscape requirements for nature conservation // Conservation Biology. – 1997, 11, pp. 849–856.

3.3. Оценка состояния наземных экосистем по данным биологического мониторинга (на примере жуужелиц)

В условиях постоянно нарастающего антропогенного воздействия на природу все больший интерес представляют биологические методы индикации условий окружающей среды. Поэтому поиск биоиндикаторов (живых показателей состояния среды) в настоящее время становится насущной проблемой прикладной экологии. Далеко не всех наземных животных, по разным причинам, можно использовать в биоиндикационных целях. Наилучшими объектами являются, по-видимому, представители педофауны, так как мир обитателей почвы – одна из немногих сложных универсальных систем, сохраняющихся в антропогенной среде (Криволицкий, 1985).

Среди почвенных беспозвоночных, быстро и адекватно реагирующих на источники загрязнения, особую группу составляют жуужелицы (Coleoptera, Carabidae). Представители этого многочисленного и широко распространенного семейства нередко используются в качестве модельных объектов в различных экологических исследованиях. Преимущество этих насекомых, как

тест-объектов, состоит в том, что они позволяют фиксировать изменения по целому ряду показателей. Это касается, прежде всего, изменения видового богатства, динамики численности, структуры доминирования как на видовом уровне, так и по составу экологических групп. Кроме того, жужелицы – одни из немногих почвенных обитателей, которые встречаются в импактных зонах промышленных предприятий.

Материалы и методы исследования

Для оценки состояния окружающей среды в районе действия ОАО «Кольская ГМК» в 2007, 2010–2011 гг. были проведены учеты жужелиц на пяти модельных площадках («Никель», «Заполярный», «Гольфстрим», «Печенга», «Север Заповедника»), находившихся на разном удалении от предприятий и характеризовавшихся разной степенью трансформации растительного и напочвенного покрова.

Стационары «Никель» и «Заполярный» располагались в непосредственной близости от промышленных предприятий и представляли собой техногенные пустоши, полностью лишённые растительности.

Стационар «Гольфстрим» расположен в средней зоне загрязнения. Растительный покров хорошо развит: древесный ярус представлен березой пушистой, травянисто-кустарничковый ярус образован вороникой, брусникой, черникой и злаками.

Стационар «Печенга» располагался в третьей по степени загрязнения зоне. Здесь практически отсутствовали признаки отрицательного воздействия на природу. Растительный покров представлен березой пушистой, можжевельником, различными видами кустарничков и злаков.

Стационар «Север заповедника» был эталонным, так как располагался на значительном удалении от комбината. Древесный ярус представлен березой пушистой, кустарничковый ярус образован брусникой, черникой и багульником, в травостое доминируют камыш лесной, плаун годичный, хвощи и злаки.

Все учетные площадки располагались в сходных по структуре экосистемах на участках горно-березового редколесья.

Жужелиц собирали стандартным методом почвенных ловушек (Тихомирова, 1975), в качестве которых использовались пластиковые стаканы объемом 0,25 л на 1/3 заполненные 4% раствором формалина. На каждой учетной площадке в разные годы функционировало от 10 до 40 ловушек. Всего за время исследования было собрано 779 экземпляров имаго жужелиц и отработано 4810 ловушко-суток.

Система Carabidae дана по «Систематическому списку жужелиц (Carabidae) России» (Макаров и др., 2012), номенклатура – по каталогу жесткокрылых Палеарктики (Löbl, Smetana eds., 2003). Спектры жизненных форм имаго жужелиц составлены в соответствии с системой, разработанной И.Х. Шаровой (1981). Зоогеографическая характеристика видов приводится с учетом сведений об их региональном распространении (Kryzhanovskij et al., 1995).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований на пяти модельных площадках было выявлено 20 видов жужелиц из 16 родов (табл. 3.1).

Фауна жужелиц района исследования отличается низким таксономическим разнообразием и высокой видовой специфичностью, что в целом типично для северных регионов (Чернов, 2008; Филиппов, 2008). По видовому обилию доминируют голарктические виды (50%), однако их численное обилие невысоко (23%). Виды с широкими ареалами (транспалеарктические и европейско-сибирские) существенно преобладают по численному обилию (68%), несколько уступая по видовому разнообразию (40%). Европейский комплекс представлен всего 2 видами – *Carabus glabratus* и *Cychrus caraboides* (10% и 9%, соответственно).

Число видов по площадкам варьировало слабо (рис. 3.19). За время исследований на площадке «Никель» было зарегистрировано 8 видов, а на площадке «Заполярный» – 7. Однако большинство из отмеченных видов не связаны с данными местообитаниями, о чем свидетельствуют как низкая уловистость (единичные особи), так и экологические предпочтения обнаруженных здесь видов. Только пиротфильный *Sericoda quadripunctata*, по-видимому, обитал на площадке «Заполярный», достигая высокой численности. Известно, что пиротфильные виды часто используют промышленно нарушенные территории, порой достигая на них высокой численности (Ермаков, 2004).

На площадках «Гольфстрим» и «Печенга», находящихся во 2-й и 3-й зонах загрязнения, было отмечено по 7 видов, а для эталонного стационара «Север заповедника» – 9. Следует отметить, что экологические предпочтения видов, обнаруженных на этих площадках, позволяют предполагать, что все они могли обитать в этих стациях.

Уловистость Carabidae закономерно увеличивалась по мере удаления от промышленных предприятий (табл. 3.1, рис. 3.20). Максимальной она была на стаци-

Таблица 3.1. Распределение видов по модельным стационарам (суммарные данные за 2007, 2010-11 гг.)

№	Виды	Зоогеографическая характеристика	Биотопическая характеристика	Жизненная форма	Никель	Заполярный	Гольфстрим	Печенга	Север заповедника
1	<i>Pelophila borealis</i> (Paykull, 1790)	ГА	пр, тунд	З с.п-п.					0,14
2	<i>Notiophilus germinyi</i> Fauvel, 1863	ЕС	лс	З с.п.				0,29	
3	<i>N. biguttatus</i> (Fabricius, 1779)	ЕС	лс	З с.п.			0,27	0,43	10,96
4	<i>Carabus glabratus</i> Linnaeus, 1758	Е	лс	З э.х.			0,14	5,29	0,41
5	<i>Cychrus caraboides</i> (Linnaeus, 1758)	Е	лс	З э.х.			0,41	1,29	1,51
6	<i>Loricera pilicornis</i> (Fabricius, 1775)	ГА	лг, бл	З с.п-п.					1,51
7	<i>Miscodera arctica</i> (Paykull, 1798)	ГА	тунд	З с.п.	0,08	0,52			
8	<i>Bembidion yuconum</i> Fall, 1926	ГА	тунд	З с.п-п.	0,15	0,15			
9	<i>Patrobus assimilis</i> Chaudoir, 1844	ЕС	лс, бл	З с.п.			0,27	1,0	0,96
10	<i>Pterostichus adstrictus</i> Eschscholtz, 1823	ГА	лс	З с.п-пч.	0,38	0,07			
11	<i>Calathus melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	ТП	лг, пол	З с.п.	0,08	0,07			
12	<i>C. micropterus</i> (Duftschmid, 1812)	ТП	лс	З с.п.			4,46	23,43	21,1
13	<i>Sericoda quadripunctata</i> (DeGeer, 1774)	ГА	пир (лс)	З с.п-п.		9,85			
14	<i>Agonum fuliginosum</i> (Panzer, 1809)	ТП	лс, бл	З с.п-п.					0,27
15	<i>Amara nigricornis</i> Thomson, 1857	ЕС	пир (лс)	М с.с.		0,15			
16	<i>A. brunnea</i> (Gyllenhal, 1810)	ГА	лс, лг	М с.с.			6,89	2,0	0,14
17	<i>A. quenseli</i> (Schönherr, 1806)	ТП	лг	М гх.(г)	0,62	1,04			
18	<i>Curtonotus hyperboreus</i> (Dejean, 1831)	ГА	тунд, лг	М гх.(г)	0,08		0,14		
19	<i>Dicheirotichus cognatus</i> Gyllenhal, 1827	ГА	лс, лг	М с.с.	0,08				
20	<i>Harpalus solitaris</i> Dejean, 1829	ГА	лг	М гх.(г)	0,15				
	Уловистость (экз./100 л-с.)				1,62	11,85	12,58	33,73	37,0

Обозначения. Зоогеографическая характеристика: ГА – голарктический, ТП – транспалеарктический, ЕС – европейско-сибирский, Е – европейский; биотопические группы: пр – приводный, тунд – тундровый, лс – лесной, бл – болотный, пол – полевой, лг – луговой, пир – пиротфильный; жизненные формы: З – зоофаги (э.х. – эпигеобионты ходящие, с.п-п. – стратобионты поверхностно-подстилочные, с.п. – стратобионты подстилочные, с.п-пч. – стратобионты подстильно-почвенные), М – миксофитофаги (с.с. – стратобионты скважинки, гх.(г) – геохортобионты гарпалоидные).

онарах «Печенга» (33,73 экз./100 л-с.) и «Север заповедника» (37,0 экз./100 л-с.), которые в наименьшей степени были подвержены техногенному воздействию. Минимальная уловистость (1,62 экз./100 л-с.) отмечена для стационара «Никель» (зона сильного загрязнения), где жуки практически не встречались. На стационаре «Заполярный» высокая уловистость поддерживалась за счет пиротфильного вида *S. quadripunctata*.

Видовой состав жужелиц на площадках «Никель» и «Заполярный», расположенных в 1-й зоне загрязнения, сильно отличался от других модельных территорий (табл. 3.1). Отсутствие растительного яруса и хорошо развитой подстилки обусловило появление в трансформированных биотопах видов, связанных с открытыми ландшафтами. В частности, на данных площадках были зарегистрированы тундровые *Miscodera arctica*,

Bembidion yuconum, *Curtonotus hyperboreus*, а также луговые и лугово-полевые *Calathus melanocephalus*, *Amara quenseli* и *Harpalus solitaris*. Здесь же встречались пиротфильные виды, обычные для лесных послепожарных сукцессий (Гонгальский, 2006), такие как *Amara nigricornis* и *Sericoda quadripunctata*. Лесная группа была представлена всего одним видом – *Pterostichus adstrictus* (рис. 3.21, 3.22).

Основу карабидокомплекса площадки «Гольфстрим», расположенной во 2-й зоне загрязнения, составляли лесные виды, такие как *Calathus micropterus* (рис. 3.23), *Notiophilus biguttatus* и *Carabus glabratus* (рис. 3.24), а также *Amara brunnea*, характерный для луговых и лесных сообществ. Однако уловистость большинства зарегистрированных в данном биотопе видов была невысокой (табл. 3.1). Интересно, что по мере уда-

Рис. 3.19. Изменение количества видов по стационарам (данные за 2007, 2010–2011 гг.).

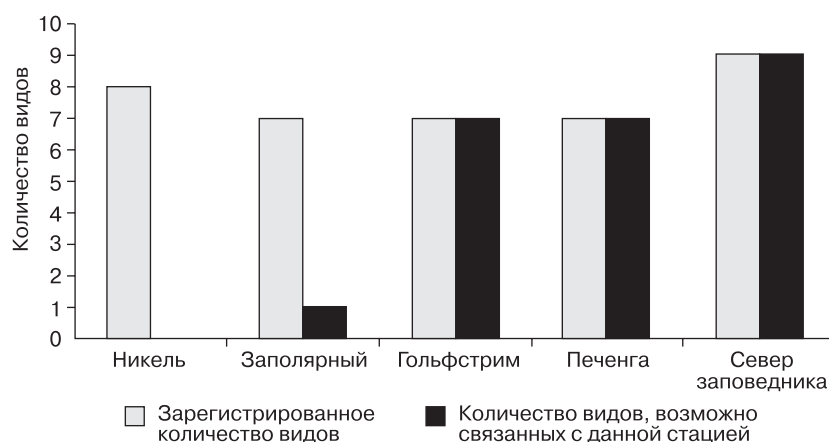
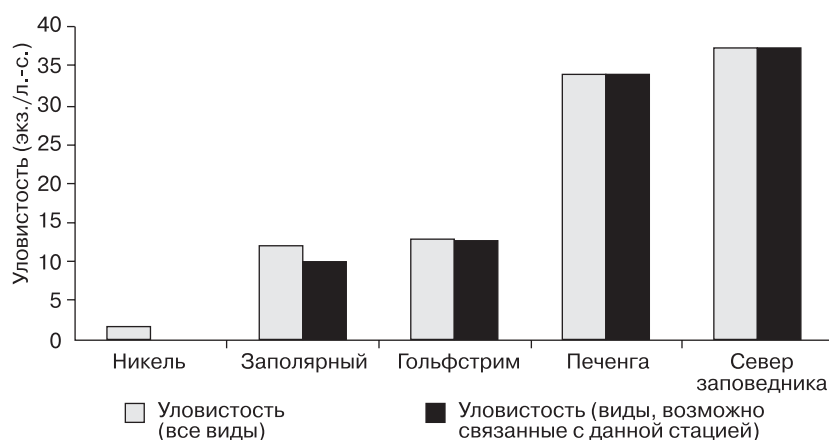


Рис. 3.20. Изменение уловистости видов по стационарам (данные за 2007, 2010–2011 гг.).



ления от комбината (площадки «Печенга», «Север заповедника») видовой состав карабидокомплексов практически не менялся – как по видовому, так и численному обилию преобладали те же лесные виды (рис. 3.21, 3.22). Однако, при практически неизменном таксономическом составе населения Carabidae, в ряду «Гольфстрим» – «Печенга» – «Север заповедника» для большинства видов наблюдалось значительное повышение уловистости (табл. 3.1). Так, *Calathus micropterus* достигал максимальной численности только на последних двух площадках. Этот вид очень чувствителен к состоянию окружающей среды и служит показателем стабильности лесных экосистем (Алалыкина, Целищева, 2005). Также возрастала уловистость крупных видов: *Carabus glabratus* и *Cychnus caraboides* (рис. 3.25), встречающихся, как правило, только в ненарушенных местообитаниях. Снижение уловистости отмечалось только у *Amara brunnea*.

Жизненные формы характеризуют ярусное распределение группировок жулици и могут использоваться для индикации состояния почвенного покрова, подстилки, и травянистого яруса.

В результате проведенных исследований были выявлены существенные различия в спектрах жизненных форм имаго Carabidae в зависимости от степени техногенной нагрузки на биотопы (рис. 3.26, 3.27).

На площадке «Никель», полностью лишенной растительности и подстилки, по численному обилию преобладали миксофитофаги геохортобионты гарпалоидные и зоофаги стратобионты подстилочно-почвенные. В меньшей степени здесь были представлены поверхностно-подстилочные и подстилочные формы (рис. 3.26, 3.27). Вместе с тем, экологические предпочтения в совокупности с очень низкой уловистостью отмеченных здесь видов свидетельствует об их слабой связи с данным местообитанием. На стационаре «Заполярный»,

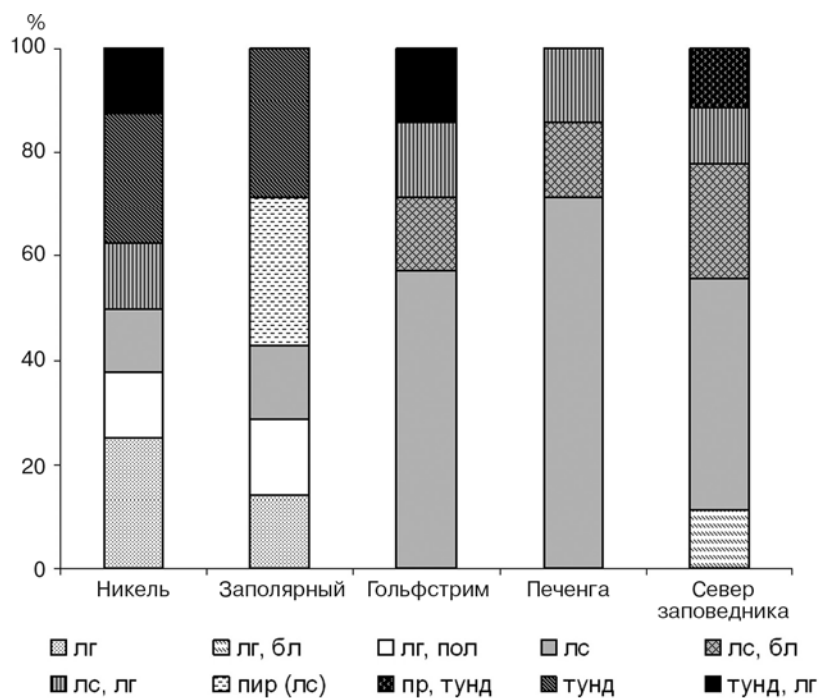


Рис. 3.21. Изменение спектра биотопических групп (видовое обилие, в %) по модельным площадкам (суммарные данные за 2007, 2010–2011 гг.). Условные обозначения приведены в табл. 3.1.

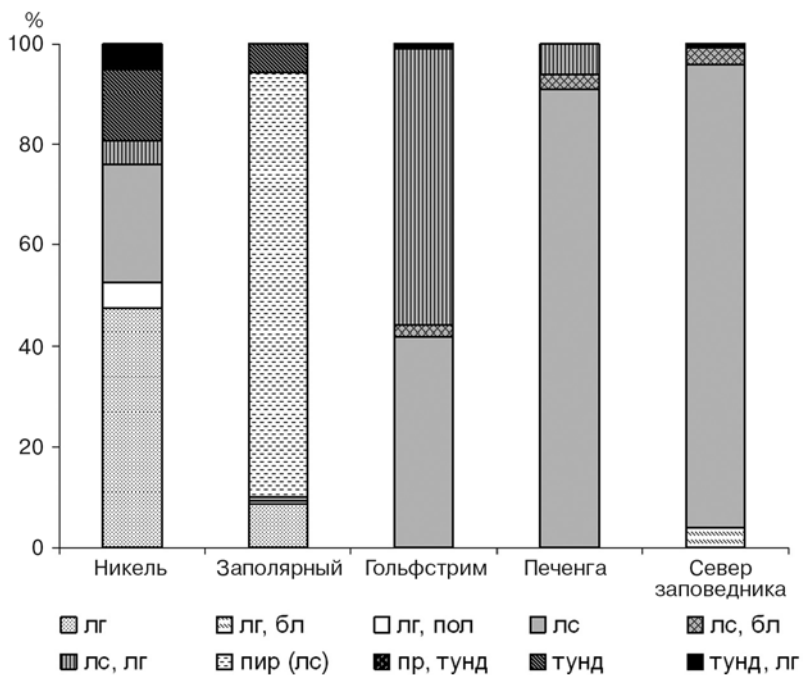


Рис. 3.22. Изменение спектра биотопических групп (численное обилие, в %) по модельным площадкам (суммарные данные за 2007, 2010–2011 гг.). Условные обозначения приведены в табл. 3.1.

Рис. 3.23. *Calathus micropterus* (фото Заколдаевой А.А.).



Рис. 3.24. *Carabus glabratus* (фото Заколдаевой А.А.).



Рис. 3.25. *Sychrus caraboides* (фото Заколдаевой А.А.).



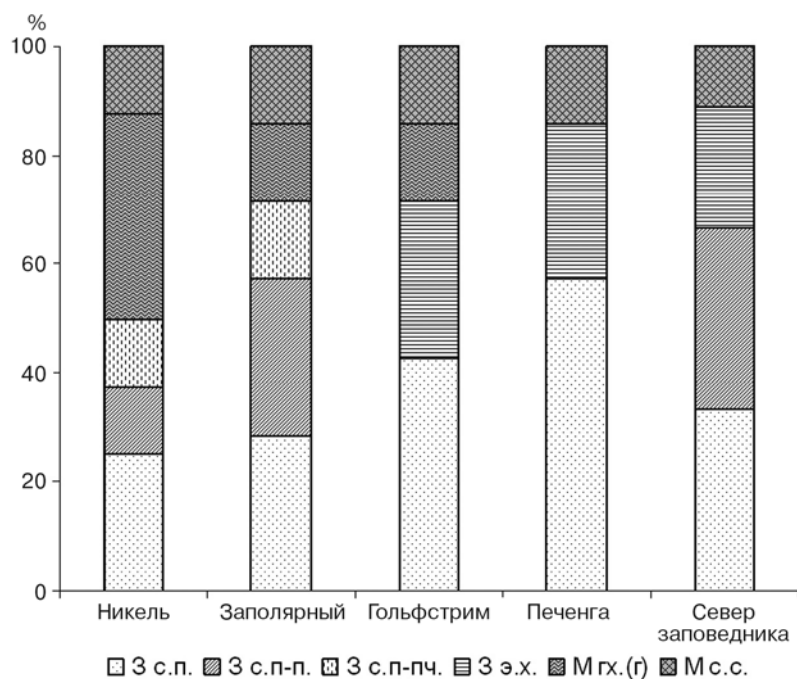


Рис. 3.26. Изменение спектра жизненных форм (видовое обилие, в %) по модельным площадкам (суммарные данные 2007, 2010–2011 гг.). Условные обозначения приведены в табл. 3.1.

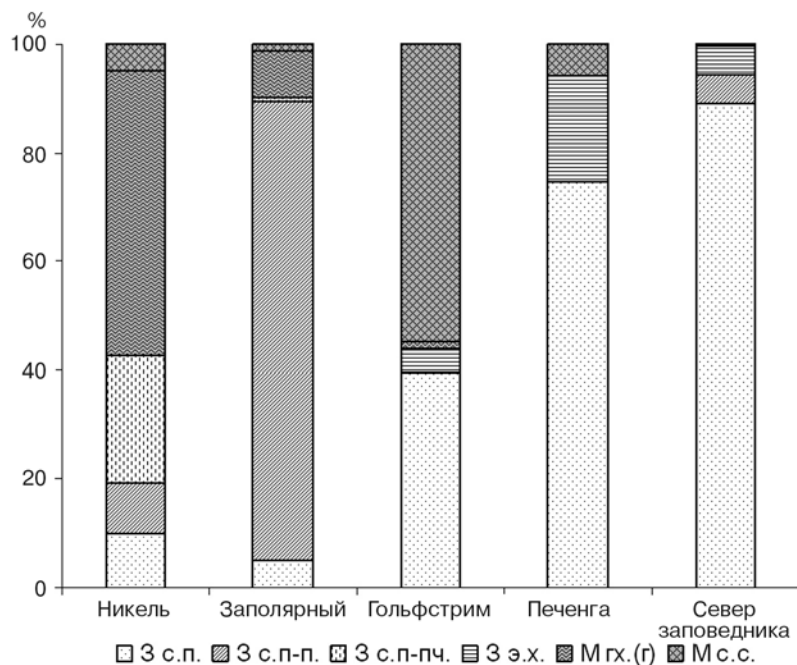


Рис. 3.27. Изменение спектра жизненных форм (численное обилие, в %) по модельным площадкам (суммарные данные 2007, 2010–2011 гг.). Условные обозначения приведены в табл. 3.1.

напротив, по численному обилию преобладали поверхностно-подстилочные формы, что связано с доминированием в этом биотопе *Sericoda quadripunctata*.

На площадках с хорошо развитой растительностью и выраженной подстилкой («Гольфстрим», «Печенга» и «Север заповедника») как по видовому разнообразию, так и по численному обилию доминировали обитатели подстилочного яруса. Среди миксофитофагов преобладали стратобионты-скважники, а среди зоофагов – стратобионты подстилочные. На площадке «Север заповедника» высоким видовым разнообразием отличались зоофаги стратобионты поверхностно-подстилочные, представленные в основном гигрофильными *Loricera pilicornis* и *Agonum fuliginosum*, численное обилие которых, однако, было невелико. На трех последних модельных площадках регистрировались крупные эпигеобионты: *Carabus glabratus* и *Cychrus caraboides* (рис. 3.26, 3.27).

Таким образом, большинство видов, отмеченных в зонах интенсивного техногенного загрязнения, реально не связаны с данными местообитаниями. По мере удаления от промышленных предприятий значительно возрастает видовое разнообразие карабидокомплексов, увеличивается уловистость отдельных видов, коренным образом меняется видовой состав, а также состав биотопических групп и спектр жизненных форм.

Заключение

Проведенные исследования показали, что отрицательное воздействие на структуру карабидокомплексов сказывается только непосредственно в зоне действия предприятий (площадки «Никель» и «Заполярный»). Уже на расстоянии 14 км (стационар «Гольфстрим») это влияние мало заметно – здесь встречаются типичные лесные виды, однако их уловистость остается достаточно низкой. На значительном удалении от зоны промышленного производства (площадки «Печенга» и «Север заповедника») формируются типичные карабидокомплексы, характерные для ненарушенных северных лесов.

Источники

1. Алалыкина Н.М., Целищева Л.Г. Фауна жулициц (Coleoptera, Carabidae) Кировской области и возможности использования данных в оценке экологического состояния ее территории // Вестник ИБ. № 2. 2005. С. 16–21.
2. Гонгальский К.Б. Лесные пожары как фактор формирования сообществ почвенных животных // Журнал общей биологии. Т. 67. № 1. 2006. С. 54–65.
3. Ермаков А.И. Структурные изменения фауны жулициц лесных экосистем при токсическом воздействии // Экология. 2004. № 6. С. 450–455.

4. Криволицкий Д.И. Индикационная зоология // Природа. № 7. 1985. С. 86–91.
5. Макаров К.В., Крыжановский О.Л., Белоусов И.А., Замотайлов А.С., Кабак И.И., Катаев Б.М., Шиленков В.Г., Маталин А.В., Федоренко Д.Н. Систематический список жулициц (Carabidae) России. 2012. http://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/car_rus.htm
6. Тихомирова А.Л. Учет напочвенных беспозвоночных // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. С. 73–85.
7. Филиппов Б.Ю. Пути адаптации и экологические закономерности освоения жулицицами (Coleoptera, Carabidae) севера Русской равнины // Автореф.... док. биол. наук, М.: МПГУ, 2008. 42 с.
8. Чернов Ю.И. Экология и биогеография. Избранные работы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 580 с.
9. Шарова И.Х. Жизненные формы жулициц (Coleoptera, Carabidae). М.: Наука, 1981. 360 с.
10. Kryzhanovskij O.L., Belousov I.A., Kabak I.I., Kataev B.M., Makarov K.V. & Shilenkov V.G. A Checklist of the Ground-Beetles of Russia and Adjacent Lands (Insecta, Coleoptera, Carabidae). Sofia-Moscow: Pensoft, 1995. 271 p.
11. Löbl I. & Smetana A. (Eds.). Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 1. Archostemata, Myxophaga, Adepaga. Eds. Apollo Books Stenstrup, 2003. 271 p.

3.4. Тенденции изменения структуры многовидового сообщества муравьев

Биосоциальные структуры, как элементы тестирования состояния наземных экосистем, обладают рядом преимуществ: им свойственна длительность существования в биотопе, устойчивость к одним и чувствительность к другим воздействиям, широкая экологическая валентность и массовость (Захаров, Саблин-Яворский, 1991). В условиях Субарктики одними из наиболее распространенных наземных социальных организмов являются муравьи, образующие (в зависимости от условий среды) общества разных уровней сложности.

Муравьи могут служить индикаторами определенных условий обитания (Длусский, Захаров, 1965). Мирмекофауна может характеризовать антропогенно измененные местообитания (Дмитриенко, 1985). С большей показательностью муравьи отражают состояние лесных и полупустынных экосистем по сравнению с луговыми (Lempérière, Bourbon, Buray, Franchini, 2002; New, 2003 и др.). Мирмекологический мониторинг обосновывается как самостоятельный метод биоиндикации состояния лесных экосистем (Марков, 1998).

В настоящее время изучены реакции муравьев на загрязнение тяжелыми металлами, сернистым ангидридом, твердыми поллютантами, концентрации которых уменьшаются в организмах насекомых с увеличением расстояния от источника выбросов (Koponen, Niemelä,

Таблица 3.2 Встречаемость муравьев по типам биотопов (2006–2007 гг.) в зонах 1–4

Вид	Встречаемость видов											
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	4.4
<i>Formica lugubris</i>	-	+–	-	+–	-	+	-	-	-	-	-	+–
<i>F. truncorum</i>	-	+–	-	+	-	++	-	-	-	-	-	-
<i>F. exsecta</i>	-	-	-	-	+–	-	+	+	-	-	-	++
<i>F. picea</i>	-	+	+–	++	+++	++	++	++	-	-	+–	+++
<i>F. gagatooides</i>	+	++	-	++	+	-	+	+–	+	-	+++	++
<i>F. lemani</i>	+	+	-	+	-	-	-	-	++	+	++	+
<i>F. fusca</i>	-	+	-	+	-	++	+++	-	++	++	++	-
<i>Myrmica ruginodis</i>	-	-	-	-	-	++	+–	-	+	-	++	-
<i>Leptotorax acervorum</i>	+	+	-	++	+	+	++	+	+	+–	++	+
Всего видов:	3	7	1	7	4	6	6	3	5	3	6	6

Примечание: 1.1 – фрагментированные березовые редколесья мертвопокровные; 1.2 – то же, травянисто-кустарничковые; 1.3 – сфагново-хвощевые болота; 2.1 – деградированные разнотравно-вороничные редколесья; 2.2 – деградированные ернично-сфагновые болота; 3.1 – кустарнично-воронично-разнотравные березовые редколесья; 3.2 – деренно-луговиковые березовые редколесья; 3.3 – ернично-сфагновые болота; 4.1 – березняки разнотравно-вороничные; 4.2 – березняки папоротнико-разнотравные; 4.3 – березовые редколесья воронично-разнотравные на участках гари; 4.4 – грядово-мочажинные ернично-сфагновые болота.

1994; Rabitsch, 1994). Количество гнезд муравьев и размеры гнездовых холмиков сравнительно меньше вблизи источника загрязнений (Блинова, 2005). Муравьи в целом имеют большое значение в циклах элементов в наземных экосистемах, функционируя как макроконцентраторы элементов (Rabitsch, 1994).

Перечисленные выше факторы обусловили использование муравьев в качестве модельных объектов биологического мониторинга, проводившегося нами вблизи промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» Кольской горно-металлургической компании в мае–августе 2006–2011 гг. В задачи исследования входило: 1) изучение видового состава, биотопической приуроченности и встречаемости муравьев в лесотундровых сообществах различной степени трансформации; 2) определение таксономического состава и численности фауны беспозвоночных на территориях различной степени техногенной нарушенности.

Методы исследования

Для выявления видов муравьев использовали ручной сбор на маршрутах, прикопки, а также пользовались данными ловушек Барбера, установленных линиями по 20 ед. Основной объем работ был выполнен в 2006 г., в 2008–2011 гг. пользовались только качественными данными, полученными по результатам сбора почвенными ловушками. Между п. Никель и г. Заполярный по направлению преобладающего переноса воздушных масс заложили четыре пробных площади, соответственно зонам влияния комбината на территорию: 0–1,3 км – зона 1 сильного воздействия промышленных вы-

бросов на биогеоценозы (зона техногенных пустошей); 1,3–6 км – зона 2 среднего влияния (зона видимых нарушений); 6 км и далее – зона 3 слабого воздействия (зона скрытых нарушений) (NILU F:13\1990; NORUT-viten, 1993; Rapport 522/1993, 543/1993). Контрольная площадь находилась в 4 км к юго-востоку от п. Печенга (зона 4 – зона вне воздействия выбросов комбината). Всего пройдено 25,4 км по маршрутам, описано 135 гнезд, исследовано лабораторно 362 энтомологические пробы.

Результаты

Было обнаружено девять видов муравьев из трех родов; семь представителей подсемейства Formicinae и два – Myrmicinae (табл. 3.2). Семь видов принадлежат к бореальному фауногенетическому типу (по Арнольди, 1968), а остальные – к панпалеарктическому. Фауна состоит только из герпетобионтов зоофагов-трофобионтов.

В описанных биотопах муравьи заселяют сравнительно менее увлажненные и более прогреваемые микро-местообитания. Ареалы облигатно доминантных видов *F. lugubris*, *F. truncorum*, *F. exsecta* ограничены на Кольском полуострове редкостойными березняками, но эти виды способны проникать дальше на север по верховым болотам и нарушенным редколесьям.

Изменения фауны муравьев при техногенной деградации редкостойных березовых лесов происходят поэтапно, что хорошо заметно при учете и количества видов, и их встречаемости. Для расчета суммарной встречаемости пользовались четырехбалльной шкалой

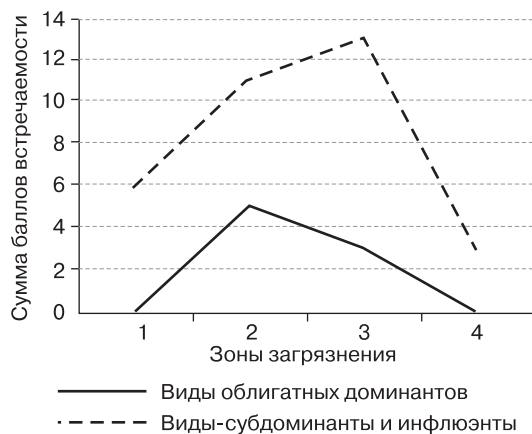


Рис. 3.28. Изменение встречаемости и структуры доминирования по зонам загрязнения.

(«+» – 1, «++» – 2, «+++» – 3, «++++» – 4 баллов). Полученные данные представлены в таблице 3.2.

Техногенная деградация редкостойных березовых лесов на первом этапе (зона 3) благодаря улучшению прогреваемости почвы приводит к увеличению количества обитающих в них видов муравьев, повышению обилия видов и усложнению структуры доминирования, в том числе благодаря увеличению количества видов – облигатных доминантов (рис. 3.28).

На втором этапе (зона 2) снижается встречаемость облигатно доминантных видов, а суммарная встречаемость субдоминантов и инфлюэнтов несколько увеличивается.

На третьем этапе (зона 1) после разрушения редкостойных березовых лесов на их месте в понижениях микрорельефа сохраняются небольшие участки обедненной и угнетенной растительности, разделенные значительными песчано-каменистыми пустошами и населенные одним-тремя малочисленными видами муравьев. При этом наиболее устойчивым видом оказался *L. acervorum*, единичные гнезда которого встречаются на одиночных травянистых дернинах в непосредственной близости от производственных мощностей. Очевидно, виды облигатных доминантов не могут выживать в зоне 1, однако мы неоднократно отмечали крылатых и бескрылых цариц *F. lugubris* и *F. truncorum*, бегавших по почве в окрестностях комбината в поисках места основания колонии. По-видимому, несмотря на неблагоприятные условия обитания в непосредственной близости от комбината происходит миграционный приток половых особей муравьев, что свидетельствует

о существовании многовидового комплекса муравьев в состоянии стабильности. В настоящее время сложно оценить, какой вклад в данное состояние вносит собственное воспроизводство муравьиных семей в техногенных пустошах, а какой – миграция из зон меньшего загрязнения среды.

На верховых болотах изменения мирмекофауны происходят более просто. По мере разрушения растительного покрова гряд и кочек количество и обилие видов уменьшается до единичных значений. Верховые болота и слабо нарушенные березовые редколесья являются местообитаниями, по которым облигатно доминантные виды наиболее далеко распространяются к северу.

Заключение

Техногенная деградация лесотундровых сообществ приводит на первом этапе к росту численности облигатно доминантных видов муравьев и, как следствие, усложнению структуры доминирования. Дальнейший распад сообществ характеризуется постепенным исчезновением облигатных доминантов и крайним упрощением структуры доминирования. Соответствие этапов изменения мирмекофауны зонам деградации можно использовать для проведения мониторинга нарушенных редкостойных березовых лесов. Характерной особенностью мирмекологического мониторинга, позволяющей более четко маркировать условные границы зон загрязнения, в лесотундре является неравномерное изменение численности и встречаемости видов по градиенту загрязнения.

Источники

1. Арнольди К.В. Зональные зоогеографические и экологические особенности мермекофауны и населения муравьев Русской равнины // Зоол. ж.-л., 1968. Т.47. Вып.8. – С. 1155–1178.
2. Блинова С.В. Влияние твердых выбросов предприятий на муравьев (Hymenoptera, Formicidae) // Муравьи и защита леса: Мат-лы XII Всеросс. мирмекол. симп. – Новосибирск, 2005. – С. 69–72.
3. Длусский Г.М., Захаров А.А. Расселение муравьев в лесах разных типов // Лесное хозяйство, 1965. №8. – С. 55–57.
4. Длусский Г.М. Муравьи рода Формика.- М.: Наука, 1967. – 292 с.
5. Дмитриенко В.К. Муравьи как индикатор нарушений природной среды // Система мониторинга в защите леса; Тез. докл. Всесоюз. совещ. – Красноярск: 1985, с. 36–37.
6. Захаров А.А., Саблин-Яворский А.Д. Биосоциальные структуры как элементы тестирования состояния среды // Муравьи и защита леса. Тез. докл. 9-го Всесоюз. мирмекол. симп., М., 1991. – С. 34–36
7. Кипятков В.Б. Роль эндогенных ритмов в регуляции годовых циклов развития у муравьев (Hymenoptera, Formici-

- dae). // Энтомологическое обозрение. – 1994, №3, с. 540–553.
8. Марков В.А. Мирмекологический мониторинг – метод биоиндикации лесных экосистем // Муравьи и защита леса. Мат.-лы 10-го Всеросс. мирмек. симп. – М.: Наука. 1998, с. 89–90.
 9. Koponen S., Niemelä P. Heavy metal content of ants and spiders along pollution gradient in pine forest, Finland // 5th Europ. Congress of Entomol. 29 Aug. – 2 Sept. 1994, York, UK: Abstr. – York: Univ. of York, 1994. – P. 317.
 10. Rabitsch W.B. Seasonal metal accumulation patterns in the red wood ant *Formica pratensis* (Hymenoptera: Formicidae) at contaminated and regerence sites // J. appl. ecol., 1994. Vol. 34, № 6. – P. 1455–1461.
 11. Lemperiere G., Bourbon G., Buray A., Franchini S. Etude des population de fourmis rouges dans cinq sites du bassin de Gap-Chaudun (Hautes-Alpes) // Rev. forest. Fr., 2002. Vol. 54, № 5. P. 419–428.
 12. New T.R. How useful are ants assemblages for monitoring habitat disturbance on grasslands in south eastern Australia // J. Insect. Conserv., 2000. Vol. 4, № 3. P. 153–159.

3.5. Изучение таксономической структуры населения паукообразных-герпетобионтов

Воздействие медно-никелевого производства на северо-западе Кольского полуострова на сообщества наземных беспозвоночных животных изучается давно, однако его влияние на паукообразных остается мало исследованным, хотя именно паукообразные, в частности представители отряда Aranei (Настоящие пауки), являются важнейшим звеном в цепях питания в исследуемом районе. Воздействие промышленного загрязнения на герпетобионтных пауков Кольского полуострова рассматривалось ранее преимущественно на ценоотическом уровне, но затрагивались также таксономическая структура, видовой состав и соотношение жизненных форм (Koponen, Niemelä, 1995). В градиенте загрязнения наблюдается снижение динамической плотности паукообразных, замещение тенетных форм засадными и бродячими, связанное с уменьшением числа представителей пауков-тенетников, а также увеличение пространственного варьирования обилия паукообразных. Вместе с тем, непосредственно на территории, подверженной аэротехногенному загрязнению вблизи промышленных площадок ОАО «Кольская ГМК», подобных исследований не проводилось.

Целью исследования стало изучение структуры сообщества герпетобионтных паукообразных на разном удалении от промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» Кольской горно-металлургической компании, а также анализ соотношения их функциональных групп в градиенте техногенной нагрузки.

Материалы и методы исследования

Сбор пауков-герпетобионтов осуществлялся методом почвенных ловушек Барбера. Этот метод широко используется при проведении эколого-фаунистических исследований в почвенной зоологии. При сравнительно небольшой трудоемкости он позволяет проводить широкомасштабные исследования и собирать обширный, пригодный для статистической обработки, материал.

В качестве ловушек были использованы пластиковые стаканы с диаметром отверстия 75 мм, заполненные на одну треть 3%-ным раствором уксусной кислоты.

Учеты паукообразных-герпетобионтов проводились на пяти стационарах («Никель», «Заполярный», «Гольфстрим», «Печенга», «Север заповедника») на сходных по рельефу участках местности.

Стационары «Никель» и «Заполярный» расположены на южных склонах возвышенностей в зоне техногенных пустошей. Стационар «Никель» занимает склон, в нижней трети которого происходит восстановление растительности, присутствует напочвенное покрытие в виде мертвой подстилки. Опад представлен остатками кустарничков. Травянистый ярус сформирован пушицей, пятнами зеленых мхов, общее проективное покрытие составляет не более 5–8%. Кустарничковый ярус представлен единичными экземплярами брусники, кустарничковый – ивами высотой до 0,5 м (4 экз.). Имеется подрост березы высотой до 1 м (6 экз.), однако древесный ярус отсутствует. Верхние две трети склона представляют собой техногенную пустошь, на которой местами видны скальные выходы. Почва здесь песчано-каменистая, с разбросанными по поверхности камнями диаметром до 40 см. Живой растительности нет, но есть опад из ветвей и стволов берез.

На стационаре «Заполярный» склон однороден, каменистые участки занимают не более 21–23% площади. Небольшими пятнами встречаются зеленые мхи, и их общее проективное покрытие не превышает 25–28%. Травянистый покров представлен злаками, которые встречаются мозаично и занимают 7–8%. Кустарничковый ярус практически отсутствует – встречаются лишь отдельные побеги брусники, подрост и подлесок не выражены. Древесный ярус разрежен и образован березами высотой до 4 м.

Стационар «Гольфстрим» расположен на северо-восточном склоне возвышенности, покрытом старовозрастным редкостойным березняком. Поверхность склона каменистая, диаметр камней варьирует от 0,3 до 3 м. Березняк захлавлен большим количеством упавших деревьев, подрост и подлесок не выражены. Кустарничковый ярус формируют брусника и вороника. Злаки

встречаются только около камней и распределены мозаично. Пятнами встречаются кустистые лишайники. Подстилка представлена опадом березы и других растений. Общее проективное покрытие растительности составляет 75–80%.

Стационар «Печенга» находится на юго-восточном склоне возвышенности и представлен старовозрастным березняком с обильным подростом березы и рябины. Подлесок сформирован можжевельником, общее проективное покрытие которого составляет 35%. Кустарничковый ярус бруснично-чернично-вороничный. Травянистый ярус обильный и включает преимущественно злаки и плауны. Равномерно распространены зеленые мхи. Подстилка состоит из листового опада. Общее проективное покрытие растительности составляет 85–90%. Неровности микрорельефа образованы камнями, обросшими дерниной.

Стационар «Север заповедника» расположен на правом берегу р. Мениккайоки и представлен березняком злаково-хвощевым. Высота берез варьирует в пределах 4–7 м. В подросте преобладает береза, реже встречаются рябина и ольха. Травянистый ярус достигает высоты в 40 см. Подстилка состоит из отмерших частей травянистых растений и опада лиственных деревьев. Общее проективное покрытие растительности составляет 100%.

В пределах каждой учетной площадки функционировало 10 ловушек, которые размещались равномерно в линию через каждые 10 м. Ловушки проверялись с интервалом в 5 суток.

Исследования проводились в июне 2008–2010 гг. За этот период было отработано 7600 ловушко-суток, собрано 4167 половозрелых особей пауков.

Для определения материала использован бинокулярный микроскоп Leica ZOOM-2000. Определение проводилось по таблицам В.П. Тыщенко (1971). Видовые названия приведены по Каталогу пауков (Arachnida, Aranei) территории бывшего Советского Союза (Михайлов, 1997).

Результаты

Суммарно на территории пяти стационаров обнаружен 31 вид пауков, относящихся к 10 семействам (табл. 3.3).

Таксономическое разнообразие пауков на пяти стационарах представлено на рисунке 3.29. Его анализ показывает, что стационары, в наибольшей мере подверженные техногенной нагрузке («Никель» и «Заполярный»), характеризуются низкими показателями таксономического разнообразия как по количеству семейств,

Таблица 3.3. Таксономический список видов пауков (Aranei), обнаруженных на пяти исследуемых стационарах

Семейства	Виды
Licosidae	<i>Alopecosa cuneata</i> (Cl., 1757) <i>Acantolycosa norvegica</i> (Thorel., 1872) <i>Acantolycosa lignaria</i> (Cl., 757) <i>Tarentula pulverulenta</i> (Cl., 1758) <i>Pardosa lugubris</i> (Walk., 1802) <i>Pardosa palustris</i> (L., 1758) <i>Pardosa hyperborea</i> (Thorel., 1872) <i>Pardosa paludicola</i> (Cl., 1758) <i>Pardosa lapponica</i> (Thorel., 1872) <i>Pardosa riparia</i> (C.L. Koch., 1847)
Clubionidae	<i>Clubiona pallidula</i> (Cl., 1757)
Gnaphosidae	<i>Micaria caerulea</i> (L. Koch., 1866) <i>Micaria pulcariaria</i> (Sund., 1832) <i>Gnaphosa lapponum</i> (L. Koch., 1866) <i>Gnaphosa muscorum</i> (L. Koch., 1866)
Theridiidae	<i>Robertus lividus</i> (Bleekwall., 1836) <i>Steatoda bipunctata</i> (Linnaeus., 1758)
Linyphiidae	<i>Hilaria herniosa</i> (Thorel., 1875) <i>Tibbioplus diversus</i> (L. Koch., 1879) <i>Zornella cultigera</i> (L. Koch., 1879) <i>Agyneta qulosa</i> (L. Koch., 1879) <i>Bathypantes rupestris</i> (Holm, 1967) <i>Centromerus aequalis</i> (Westring, 1851)
Thomisidae	<i>Misumena vatia</i> (Cl., 1758) <i>Xysticus viduus</i> (Kulczynski, 1898) <i>Xysticus luctuosus</i> (Bleekwall., 1836) <i>Xysticus sabulosus</i> (Hahn, 1832)
Philodromidae	<i>Thanatus striatus</i> (C.L. Koch., 1845)
Araneidae	<i>Araneus angulatus</i> (Cl., 1757)
Zoridae	<i>Zora spinimana</i> (Sund., 1832)
Salticidae	<i>Evarcha falcata</i> (Cl., 1757)

так и по числу видов. Напротив, на наиболее удаленных от источника загрязнения стационарах («Печенга» и «Север заповедника») встречается наибольшее количество видов представителей отряда Aranei.

Усредненные количественные показатели (за 3 года) по каждому стационару представлены на рисунке 3.30. Полученные сведения показывают, что стационары «Никель» и «Заполярный» характеризуются наименьшей численностью пауков. Стационары «Гольфстрим» и «Север заповедника» по данному параметру превышают показатели численности с предыдущих стационаров в 22–27,8 раз. Наиболее «продуктивным» по обилию пауков является стационар «Печенга». Увеличение численности пауков на нем напрямую связано с преобладанием представителей сем. Licosidae на фоне снижения численности и видового разнообразия представителей сем. Linyphiidae и полным отсутствием в сборах представителей сем. Araneidae и Zoridae. Это может быть обусловлено различиями в структуре растительно-

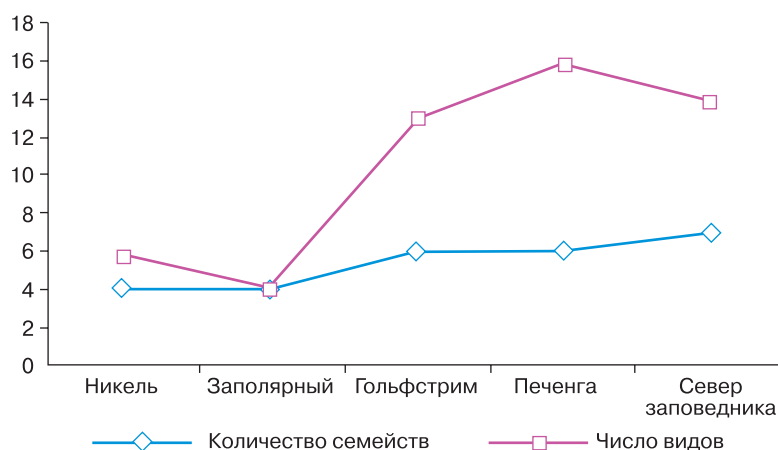


Рис. 3.29. Таксономическое разнообразие пауков на пяти исследуемых стационарах.

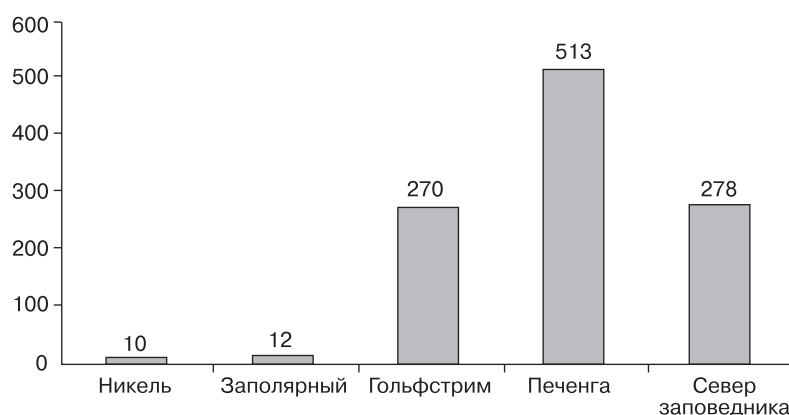


Рис. 3.30. Среднее (за 3 года исследований) количество пауков по каждому стационару.

сти: сокращение проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса и обеднение его видового состава приводит к увеличению доли активных охотников и уменьшению доли тенетных форм. Паукам-тенетникам для плетения ловчих сетей необходимы определенная вертикальная структура травостоя и его проективное покрытие. Пауки-засадники и активные охотники в этом не нуждаются, так как не используют сети для охоты, в связи с чем предпочитают открытые биотопы с разреженным травостоем.

Следует отметить, что в период исследований (июнь) наиболее массовыми видами пауков-герпетобионтов на антропогенно трансформированных территориях являются представители сем. *Licossidae*: *Pardosa lugubris* и *P. palustris*. Вероятно, структура аранеокомплекса и соотношение функциональных групп, в первую очередь, зависят от структуры фитоценоза, который в большей степени реагирует на техногенное загрязнение. Такое предположение высказывают S. Koronen и P. Niemelä (1995), а также М.П. Золота-

рев (2009): по их мнению, различия напочвенной фауны беспозвоночных объясняются изменениями характера растительности по мере приближения к источнику загрязнения.

В этом аспекте так же показательны данные, полученные со стационара «Гольфстрим», который по своим характеристикам занимает среднее положение в градиенте загрязнения. Здесь наблюдаются несколько заниженные показатели по таксономическому разнообразию, а показатель численности пауков-герпетобионтов хоть и близок к таковому на Севере заповедника, но так же характеризуется снижением разнообразия и численности пауков-тенетников и преобладанием активных охотников из сем. *Licossidae*.

В таблице 3.4 представлены процентные показатели численности тенетников по отношению к общей численности пауков за каждый год исследования. Рассматривая этот показатель, как экологический индикатор можно сделать ряд выводов о состоянии среды на исследуемой территории.

Таблица 3.4. Процентные показатели численности тенетников по отношению к общей численности пауков на стационаре за каждый год исследования

Год исследования	Стационар				
	Никель	Заполярный	Гольфстрим	Печенга	Север заповедника
2008	0	0	0	19,7%	68,7%
2009	0	0	3,9%	16,9%	57,1%
2010	0	0	5,9%	20,3%	70,2%

Примечание: при подсчетах не учитывалось количество особей такого представителя сем. Linyphiidae, как *Hilaria hernios*, т.к. пауки этого вида в зависимости от внешних условий могут быть как тенетниками, так и засадниками.

Заключение

В наибольшей степени техногенной нагрузке подвержены территории, прилегающие к стационарам «Никель» и «Заполярный», что подтверждается снижением таксономического разнообразия и соотношением численности тенетных и свободно живущих видов пауков. В направлении стационаров «Гольфстрим» и «Печенга» градиент загрязнения постепенно снижается, а стационар «Север заповедника» может быть использован как эталонный.

За период 2008–2010 гг. по данным исследования таксономической структуры населения паукообразных-герпетобионтов на стационарах «Никель», «Заполярный», «Печенга», «Север заповедника» не наблюдается увеличения техногенной нагрузки, их состояние можно охарактеризовать как стабильное. Данные по стационару «Гольфстрим» показывают увеличение числа тенетных пауков, что свидетельствует о некотором улучшении состояния напочвенного растительного покрова.

Источники

1. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. – Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
2. Гонгальский К.В., Филимонова Ж.В., Покаржевский А.Д., Бутовский Р.О. Различия реакции герпетобионтов на воздействие Косогорского металлургического комбината (Тюльская обл.) // Экология. 2007. № 1. С. 55–60.
3. Еськов К.Ю. Анализ пространственного распределения пауков в приенисейской тайге // Зоол. ж. 1981. Т. 60. Вып. 3. с. 353–362.
4. Золотарев М.П. Изменение таксономической структуры населения паукообразных-герпетобионтов в градиенте загрязнения от выбросов медеплавильного комбината // Экология. – 2009, № 5, с. 378–382.
5. Крушев Л.Т. Биологические методы защиты леса от вредителей. М., 1973. 192 с.
6. Михайлов К.Г. Каталог пауков (Arachnida, Aranei) территории бывшего Советского Союза. – М., 1997, 416 с.
7. Олигер Т.И. К методике учета герпетобионтных беспозвоночных в заповедниках // Всес. совещ. по проблеме кадастра и учета животного мира. Тез. докл. Ч. 4. – Уфа: Башк. кн. изд-во, 1989, с. 208–209.
8. Пахоруков Н.М. О связи распределения пауков хортобия с растительным покровом в северной тайге Зауралья // Отчетн. научно-практич. конф. молодых ученых: Тез. докл. Пермь, 1980. С 20–21.
9. Тыщенко В.П. Определитель пауков европейской части СССР. – Л.: Наука, 1971, 281 с.
10. Узенбаев С.Д. Экология хищных членистоногих мезотрофного болота. – Петрозаводск: Карельский фил. АН СССР, 1987, 128 с.
11. Руководство по энтомологической практике: Учеб. пос. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983, 230 с.
12. Koponen S., Niemelä P. Ground-living arthropods along pollution gradient in boreal pine forest // Entomologica fennica. 1995. V. 6. №2–3. P. 127–131.

3.6. Оценка состояния наземных экосистем по данным ландшафтных исследований

Промышленные площадки «Никель» и «Заполярный» ОАО «Кольская ГМК» расположены на территории, которая в ландшафтном отношении представляет собой урочища крупных массивов, гряд и холмов Балтийского щита. Они сформированы на кристаллических породах архея и протерозоя – так называемые тунтури (группы блоковых возвышенностей на общем цоколе с отчетливой вертикальной поясностью, высотой более 200 м) и вараки (низкие скальные денудационные гряды с мощным, но прерывистым покровом четвертичных отложений, высотой менее 200 м). Коренная растительность – лесотундровое березовое редколесье и криво-лесье на подзолах пропитанно-иллювиально-гумусовых маломощных, сменяющееся на вершинах гряд лишайниково-кустарничковой и кустарничково-лишайниковой тундрой на горных тундровых примитивных почвах (Атлас Мурманской..., 1971).

В настоящее время коренные ландшафты северо-запада Кольского полуострова в значительной мере трансформированы, что является результатом многовековой истории хозяйственного освоения этой территории, и прежде всего – восьмидесятилетней истории развития здесь медно-никелевого производства. Максимальный негативный эффект на ландшафты оказала

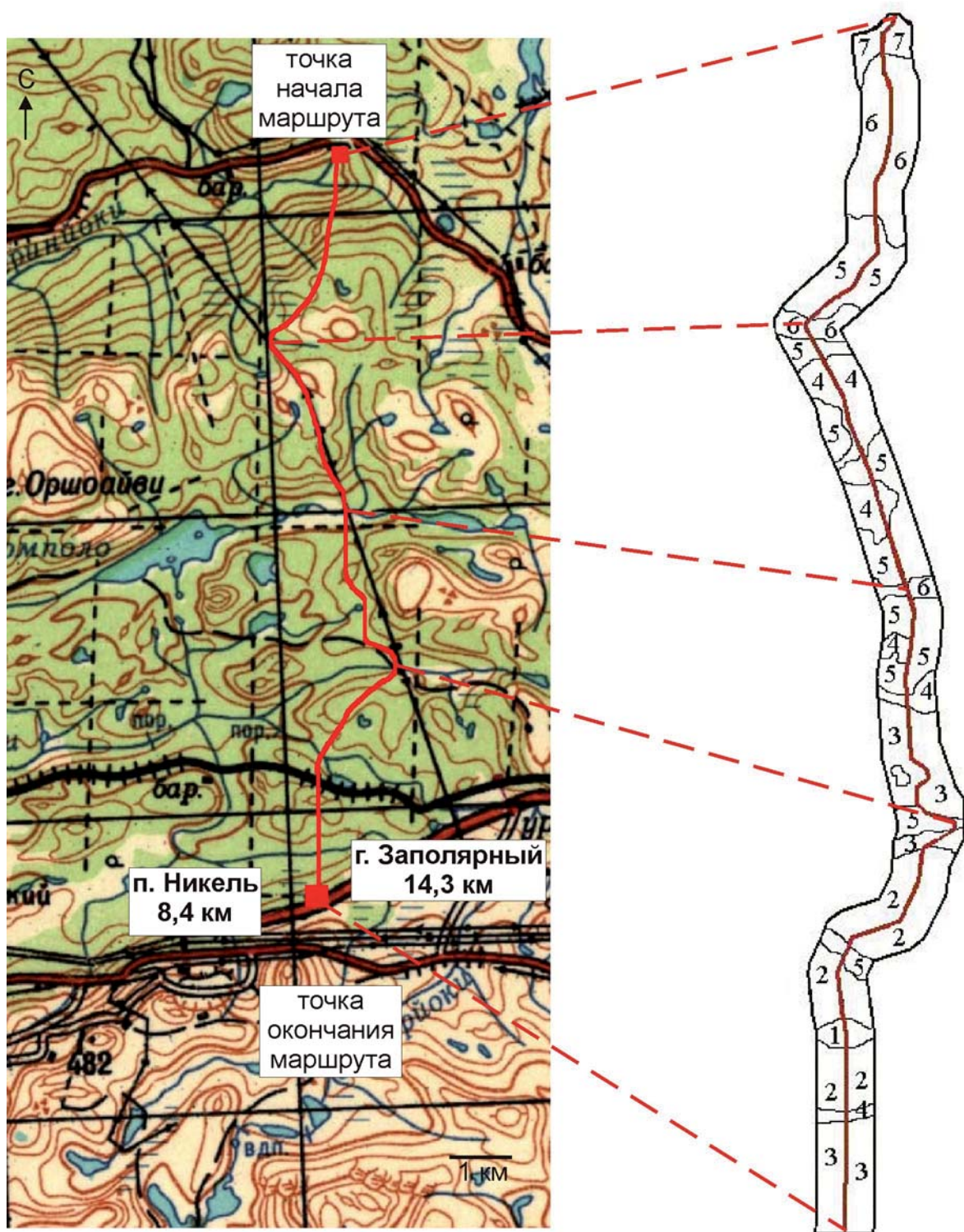


Рис. 3.31 Трансекта степени трансформации по проложенному маршруту исследования. Обозначения: 1 – чрезвычайно сильная, 2 – сильная, 3 – средняя, 4 – умеренная, 5 – слабая, 6 – почти отсутствует, 7 – отсутствует (составлено М.С. Ларьковой).

деятельность предприятия в 1970–1980 гг., когда на комбинате перерабатывалась норильская руда (см. главу 1). Отказ от ее использования, а также модернизация производства на рубеже XX – XXI вв. позволили снизить антропогенную нагрузку. Вместе с тем, восстановление коренных ландшафтов крайне затруднено.

Цель настоящего исследования – дать качественную оценку современного состояния ландшафтов, расположенных в непосредственной близости от промышленных площадок «Никель» и «Заполярный».

Методы исследования

В качестве методологической основы настоящих исследований выступает концепция хроноорганизации географической реальности В.Н. Солнцева (Солнцев, 1981), согласно которой процессы разной длительности, подобно процессам разного пространственного масштаба, характеризуются качественным своеобразием, приводящим к возникновению в объектах, охваченных этими процессами, новых качеств (Соболева, 2010). Еще Н.А. Солнцев, признавая, что развитие природно-территориальных комплексов (ПТК) идет под взаимовлиянием взаимосвязанных компонентов, считал, что сила влияния разных компонентов друг на друга неодинакова и ослабевает слева направо в следующем ряду: земная кора, воздух, вода, растительность, животный мир (Солнцев, 1960, 1963). Этим же определяется и различие в инертности (динамичности) упомянутых выше компонентов. Наибольшей динамичностью – быстрой изменчивостью в связи с воздействием внешних факторов, в том числе промышленных загрязнений, – обладает биота, поэтому именно биотический компонент ПТК должен быть положен в основу качественной оценки современного состояния ландшафтов исследуемой территории. Анализ особенностей распространения ПТК и их биотической структуры вблизи промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» показал, что наиболее представительным объектом для оценки современного состояния и мониторинга являются природные комплексы с лесотундровым березовым редколесьем и криволесьем.

Территория исследования обладает рядом особенностей, который обусловил выбор дальнейшего метода исследования. В первую очередь, к ним относятся: (1) местоположение источников выбросов – промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» – практически на одной широте; (2) необходимость изучения суммарного воздействия выбросов от двух источников в условиях сложного рельефа местности и разветвленной озерно-речной сети бассейнов рек Печенги и Паза; (3) труднодоступность региона вследствие расположе-

ния в приграничной зоне Российской Федерации с особым режимом; (4) наличие территорий, осложненных наземными сооружениями шахт (копры, надшахтные здания и сооружения, вентиляционные установки, дробильно-сортировочные фабрики, склады и пр.) и выработанными горнорудными карьерами, и поэтому непроходимых и труднопроходимых. В связи с обозначенными особенностями территории в качестве ведущего метода полевых ландшафтных исследований был выбран трансектный (градиентный) метод. Его применяют для оценки пространственной взаимосвязи различных компонентов и морфологических элементов ландшафта, отражающей качественную и количественную характеристику местоположений видов и сообществ, а также для выявления закономерностей распределения популяций в градиентах экологических факторов. Точки наблюдения на трансектах располагаются в наиболее характерных местах, репрезентативных для пересекаемых территорий или их определенных участков (Энциклопедия..., 2004).

С учетом перечисленных факторов в мае-июне 2012 года была проложена субмеридианальная трансекта, проходившая между 30°26,5' в.д. и 30°28,0' в.д., общей протяженностью 12 км (рис. 3.31). Движение по трансекте осуществлялось с севера на юг от моста через реку Кувернеринйоки на старой северной дороге Заполярный-Никель до ближайших окрестностей новой дороги Заполярный-Никель. Начальная точка равноудалена от Никеля и Заполярного на расстояние 14 км. Расстояние от конечной точки маршрута до Никеля по прямой составляет 8,4 км, до Заполярного – 14,3 км. В связи с сильной разреженностью растительного покрова, что, в целом, характерно для рассматриваемой зоны, суммарная ширина полосы обзора составила 500 м.

Работа на трансекте строилась следующим образом. По ходу движения заполнялись бланки ландшафтных описаний, по визуальным признакам определялись границы фаций с разной степенью трансформации. По линии маршрута было сделано 14 ландшафтных описаний, обозначены границы более 20 ландшафтных контуров. В процессе последующей работы полученные данные анализировались и систематизировались для отбора значимых индикаторов, которые были положены в основу оценки современного состояния ландшафтов, находящихся под воздействием выбросов промышленных площадок «Никель» и «Заполярный».

Таким значимым индикаторам в зоне распространения березового криволесья можно отнести следующие: высота и густота древостоя, количество подроста, наличие и состояние можжевельника в кустарниковом яру-



Рис. 3.32. Комплекс ненарушенного березового криволеся в точке начала маршрута (фото М.С. Ларьковой).



Рис. 3.33. «Пустошь» на вершине холма в 2 км на север от дороги «Заполярный-Никель» (фото М.С. Ларьковой).

се, видовой состав и проективное покрытие кустарничкового и травянистого ярусов.

Природно-территориальные комплексы лишайниково-кустарничковой и кустарничково-лишайниковой тундры были исключены из настоящего исследования из-за невозможности достоверного выбора значимых индикаторов.

Высота древостоя в зоне распространения березового криволесья изменялась в пределах от 3 до 15 м, в некоторых фациях фиксировалось отсутствие березы. Густота древостоя определялась по среднему расстоянию между отдельно стоящими деревьями (от 0 – при отсутствии древостоя до 20 м). Количество подроста варьировалось от полного отсутствия до обильного. Отдельно фиксировалось наличие в кустарничковом ярусе можжевельника и его внешнего вида (высота, кустистость, наличие усыхающих частей). Проективное покрытие напочвенного покрова определялось по стандартной методике (в процентах), подсчитывалась представленность (проективное покрытие и количество видов) кустарничков, разнотравья.

Такие индикаторы как «количество подроста» и «наличие и состояние можжевельника» были нормированы по шкале с пятью градациями (от 1 до 5 баллов), остальные – по шкале с градациями от 1 до 7, где 1 балл присваивался в случае отсутствия какого-либо компонента в ассоциации, 7 баллов – в случае представленности максимально возможным количеством (при наблюдаемом разбросе) или наилучшим качеством в зависимости от критерия. Причем по индикаторам древостоя (высота и густота) шкала была расширена для учета возможного улучшения состояния ландшафта через некоторое время. Далее подсчитывалась суммарное значение в баллах для каждой фации. Минимально возможное количество баллов – 7, максимально – 45 баллов. Возможный спектр баллов от 7 до 45 был разбит на 8 групп с шагом в 4 балла, т.е. было осуществлено нормирование по шкале от 1 до 8 от наихудшего до наилучшего состояния. Причем среди исследуемых фаций максимальное число баллов (41 балл) соответствует 7 баллам по нормированной шкале, т.е. в рамках исследуемой территории ни одной фации не был присвоен высший балл. Все ПТК в пределах исследуемой территории в той или иной степени трансформированы под воздействием промышленных выбросов. Вместе с тем, на заложенной трансекте самая нарушенная фация была охарактеризована 12 баллами, что соответствует 2 баллам по нормированной шкале (т.е. фаций, которые можно отнести к 1-балльным, вдоль маршрута зафиксировано не было). Разработанная методика позво-

ляет учитывать изменения в ландшафтах, происходящие как в лучшую, так и в худшую сторону.

На рис. 3.31 обозначены контуры природных комплексов с различной степенью трансформации. Если несколько соседних фаций имели одну степень трансформации, контур объединялся.

Результаты

В точке начала маршрута по обоим берегам реки Курвернеринйоки произрастает березняк разнотравно-брусничный (рис. 3.32). Высота древостоя 10–12 м; расстояние между деревьями 3–5 м; обильный подрост, можжевельник произрастает группами, кустистый, без признаков усыхания; проективное покрытие напочвенного покрова почти 100%, из кустарничков преобладает брусника (проективное покрытие 50%), присутствуют злаки (20%), разнотравье (30%). Данная ассоциация получила 7 баллов.

Самые нарушенные фации приурочены к склонам различной экспозиции в южной части трансекты. Древесный ярус сильно разрежен (расстояние между отдельно стоящими деревьями – 15–20 м), средняя высота деревьев составляет около 4 м. Подрост и кустарничковый ярус полностью отсутствуют. Травянистый ярус представлен единичными куртинами злаков, произрастающих преимущественно на приствольных повышениях, их проективное покрытие не превышает 5% (рис. 3.33). Данная ассоциация получила 12 баллов.

Обсуждение

В результате изучения степени трансформации березового криволесья в зоне влияния предприятий Кольской ГМК (район Никель–Заполярный) был выявлен ряд особенностей:

- 1) При продвижении с севера на юг степень трансформации природных комплексов возрастает: в начале маршрута какая-либо степень нарушенности ландшафтов визуально не определяется, при продвижении по маршруту, т.е. по мере приближения к источникам загрязнения, степень трансформации увеличивается. Максимальная нарушенность природных комплексов наблюдается примерно на одной широте с промышленными площадками «Никель» и «Заполярный». ПТК склонов различной экспозиции в южной части маршрута представляют собой сильно разреженное березовое криволесье, средняя высота деревьев – 4 м. Подрост и кустарничковый ярус полностью отсутствуют. В травянистом ярусе наблюдаются единичные куртины злаков, произрастающих преимущественно на приствольных повышениях (проективное покрытие не более 5%).



Рис. 3.34. Растительность по берегам реки Колосйоки гораздо слабее трансформирована по сравнению с прилегающей территорией (фото М.С. Ларьковой).

3) Увлажненность территории сильно сглаживает нарушенность ландшафтной структуры ПТК. Вблизи водотоков и на заболоченных участках местности отличие степени трансформации от фоновой может составлять от 1 до 3 баллов. Причем вблизи промышленных площадок контраст сильнее, чем на удалении. Так, в северной части маршрута разница в нарушенности ландшафтов на склонах гряд и вблизи водотоков не фиксируется. В средней части маршрута проявляются визуальные отличия: при пересечении водотока, впадающего в озеро Лучломполо, было зафиксировано различие в 1 балл, вблизи притока реки Колосйоки – 2 балла. В южной части контраст более существенный: вблизи русла реки Колосйоки было определено различие в 3 балла (рис. 3.34).

Заключение.

Проведенные в 2012 г. исследования состояния природных ландшафтов по выбранным индикаторам вблизи промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» Кольской ГМК свидетельствуют о том, что природные комплексы вокруг производственных мощностей имеют разную степень нарушенности, что зависит в первую очередь от расстояния до источника выбросов, характерных для медно-никелевого производства, веществ. На расстоянии 14 км от промышленных площадок (в точке начала маршрута) трансформация березового

криволесья по индикативным признакам выражена слабее, чем в непосредственной близости от них.

На степень трансформации ландшафтов, кроме удаленности от источников выбросов, оказывают влияние другие факторы: относительная высота местности, увлажненность, близость к водотокам. Необходимо продолжение ландшафтных исследований на основе использования трансектного метода и расширения района работ вокруг промышленных площадок «Никель» и «Заполярный» Кольской ГМК.

Источники

1. Атлас Мурманской области. Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, Научно-исследовательский географо-экономический институт Ленинградского государственного университета имени А.А.Жданова. – М., 1971, 46 с.
2. *Соболева Н.П.* Ландшафтоведение: учебное пособие / Н.П. Соболева, Е.Г. Язиков. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010, 184 с.
3. *Солнцев В.Н.* Системная организация ландшафтов. – М.: Мысль, 1981, 240 с.
4. *Солнцев Н.А.* Некоторые теоретические вопросы динамики ландшафта // Вестн. Моск. ун-та, сер. геогр. – 1963, № 2, с. 50–55.
5. *Солнцев Н.А.* О суточном цикле в динамике ландшафтов // Вестн. Моск. ун-та, сер. геогр. – 1960, № 6, с. 70–73.
6. Энциклопедия агролесомелиорации (сост. и гл. ред. Е.С. Павловский). – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004, 676 с.

4.1. Восстановление растительности на техногенных пустошах вблизи комбината

С 1997 г. сотрудниками лаборатории наземных экосистем (ИППЭС КНЦ РАН) начаты целенаправленные эксперименты по разработке научно-обоснованных подходов к восстановлению территорий, нарушенных в условиях воздействия выбросов предприятий ОАО «Кольская горно-металлургическая компания» («Североникель» и «Печенганикель»).

В полевых исследованиях использовали различные сельскохозяйственные и экологические подходы, выполняли подбор норм внесения удобрений и мелиорантов, подбор травосмесей. Изучали приживаемость многолетних трав и устойчивость древесно-кустарниковых пород.

Полевые эксперименты начинали с небольших участков, постепенно увеличивая территории восстановления техногенных пустошей до 1 га. В дальнейшем исследования охватили площади, нарушенные воздушным загрязнением: пустоши и дефолирующие леса.

Финансирование крупномасштабных работ по ремедиации нарушенных территорий (техногенные пустоши) было начато ОАО «Кольская ГМК» в 2003 г. Первый крупный проект «Проведение исследований по рекультивации санитарно-защитных зон пос. Никель и г. Заполярный» выполнялся сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН на площади 3000 м². В выводах отчета по данному проекту было написано, что необходимо осуществлять ежегодный контроль за выносом мелиорантов и изменениями питательного режима грунта, что для стабилизации восстановительной сукцессии с доведением состояния территории до уровня лесных биоценозов необходимы поэтапные инвестиции с учетом контрольных параметров на основе результатов почвенных анализов и листовой диагностики. К сожалению, проект был рассчитан на короткий период. Дальнейшие работы по восстановлению нарушенных территорий проводились лесохозяйственными организациями в п. Никель и г. Заполярный по рекомендациям, разработанным ИППЭС

КНЦ РАН на основе многолетних исследовательских и экспериментальных работ (Отчет..., 2004, 2005, 2006; Лукина и др., 2005; Никонов и др., 2005; Исаева, Горбачева, 2011; Исаева и др., 2011).

Для восстановления растительности на техногенных пустошах (рис. 4.1) в зоне влияния медно-никелевого производства были применены различные подходы (рис. 4.2–4.5). При использовании инвестиционного подхода на техногенных пустошах вблизи п. Никель выполнялась планировка территории и проводилось создание насыпного слоя почвы, которая бралась с заброшенных сельскохозяйственных угодий. Экологический, или сукцессионный, подход не предусматривал планировки и специальной подготовки территории. В данном случае предварительная обработка почвы не проводилась, т.е. камни и растительные остатки не убирались, так как они служат естественными барьерами для задержания мелиорантов и семян растений, а растительные остатки являются источником органического вещества. Посадка лиственных древесных и кустарниковых пород с одновременным внесением удобрений и посевом многолетних трав использовалась и при инвестиционном и при сукцессионном подходах. Кроме того, в окрестностях г. Заполярный сукцессионный подход на территориях, полностью лишенных растительности и органических горизонтов почв, включал только посев семян многолетних трав и внесение удобрений.

В данной работе нами представлена многолетняя динамика состояния ассимиляционных органов и почвенных параметров на ремедиационных участках 2004 г. с применением экологического и инвестиционного подходов.

Объекты и методы исследований

На техногенной пустоши общей площадью 2 га в 2004 г. были использованы два подхода: экологический (на площади примерно 0,5 га) и инвестиционный (на площади около 1,5 га). Было высажено более 4000 экземпляров лиственных деревьев и кустарников (рис. 4.2–4.5). Для рекультивации техногенных пусто-



Рис. 4.1. Техногенная пустошь в районе п. Никель (2004 г.) (фото Л.Г. Исаевой).



Рис. 4.2. Разметка территории (фото Л.Г. Исаевой).

Рис. 4.3 Выкопка и погрузка посадочного материала (фото Л.Г. Исаевой).



Рис. 4.4. Посадка кустов ивы (фото Л.Г. Исаевой).





Рис. 4.5 Участок ремедиации (инвестиционный подход, 2010 г.) (фото Л.Г. Исаевой).

шей в условиях действующего производства использовали наиболее устойчивые местные виды ив, произрастающие на близлежащих к комбинату территориях.

Отбор почвенных проб и листьев ивы с высаженных кустов производили в сентябре 2004 г. до посадки и затем в конце вегетационного периода в 2005, 2006 и 2010 гг. Металлы (Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn) в растительных образцах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии после мокрого озоления в концентрированной азотной кислоте, азот – методом Къельдаля, фосфор и серу – колориметрически. Образцы листьев перед анализом не промывали. На участках с применением экологического и инвестиционного подходов, а также на техногенной пустоши без растительности (контроль) почвенные образцы отбирали из верхнего слоя (до 5–10 см).

Актуальную кислотность (pH) измеряли потенциометрически в водной вытяжке, используя соотношение «почва : раствор» для органогенных горизонтов как 1:25 и для минеральных горизонтов как 1:10. Для определения гидролитической и обменной кислотности образцы почв экстрагировали 1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH = 7,0) и 1N KCl соответственно. Использовали те же соотношения почвы и вытеснителя, что и при определении pH. Суспензии оставляли на ночь, затем встряхивали в течение двух часов и фильтровали. Для определения доступных рас-

тениям соединений элементов образцы почв экстрагировали 1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH = 4,65) (Зырин, Стоилов, 1964, 1965; Halonen et al., 1983). Использовали те же соотношения почвы и вытеснителя, что и при определении pH. Содержание катионов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии, содержание серы, нитратного и аммиачного азота и фосфора – колориметрически.

В применении обоих подходов в качестве мелиорантов использовали доломитовую муку, а в качестве удобрений – азофоску.

Оценка состояния ассимилирующих органов деревьев и кустарников проводилась методом листовой диагностики (Kopinga J., van der Burg, 1995).

Результаты исследований

Исходный грунт (техногенная пустошь) в 2004 г. характеризовался низким питательным статусом (табл. 4.1): содержание основных элементов питания (K, Ca, Mg, P, Mn, Zn) было значительно ниже, а меди, алюминия, железа, серы – значительно выше фоновых значений (Отчет..., 2004). Отмечалась высокая вариабельность почвенных характеристик исходного грунта. Так, содержания доступных форм калия, магния, натрия, железа, фосфора, меди, никеля, марганца на отдельных участках отличались между собой более чем на порядок,

Таблица 4.1. Динамика параметров почвенной кислотности и содержания доступных для растений форм элементов на участках ремедиации

Параметры	Фон (березняки)	Фон (сосняки)	Исходный грунт	Экологический подход		Насыпной слой	Инвестиционный подход	
	2004 г. n = 40	2004 г. n = 5	2004 г. n = 14	2006 г. n = 5	2010 г. n = 15	2004 г. n = 6	2006 г. n = 5	2010 г. n = 15
pH	4,42	4,06	4,40	4,19	4,64	5,90	4,81	6,42
OK	10,4	12,3	2,7	1,0	1,9	0,2	0,2	0,1
OAI	6,1	5,4	2,4	0,9	1,3	0,1	0,1	0,1
OH	4,3	6,8	0,3	0,2	0,6	0,1	0,1	0,1
Na	87,4	106,6	8,7	3,6	6,1	13,1	7,2	10,1
K	1229,8	499,0	21,8	16,6	14,3	127,5	62,5	72,7
Ca	2655,4	1102,0	86,9	757,1	334,1	2283,7	2085,7	3290,4
Mg	759,4	243,5	14,7	17,8	24,7	126,9	177,4	244,0
Zn	36,8	22,4	3,4	0,9	1,5	3,7	1,8	2,2
Ni	23,4	12,2	20,7	57,8	105,9	3,4	41,7	212,5
Cu	3,3	6,7	83,0	184,0	287,1	1,2	54,8	34,8
Mn	208,4	57,2	10,4	1,4	4,1	23,4	10,6	18,5
Fe	200,6	30,2	309,2	346,9	1039,7	101,5	239,7	297,1
Al	361,8	150,5	960,0	370,1	1706,7	275,8	489,5	668,3
P	160,0	76,3	9,8	6,8	13,0	50,0	18,5	42,8
S	113,2	114,0	217,3	н.о.	91,1	29,5	н.о.	32,9

Примечание: OK – обменная кислотность, OAI – обменный алюминий, OH – обменный водород, н.о. – не определяли.

а кальция, цинка и серы – более чем на два порядка, что свидетельствует о разнородности исходных грунтов. В 2010 г. грунт техногенной пустоши (контроль) характеризовался высоким содержанием всех форм обменной кислотности, а также зарегистрировано снижение pH с 4,40 до 3,92 по сравнению с 2004 г., что свидетельствует о продолжающейся аэротехногенной нагрузке. Высокая вариабельность содержания доступных элементов в грунте сохранилась.

Поскольку для посадочного материала отбирались древесные и кустарниковые породы, произрастающие в непосредственной близости к предприятиям, то ассимилирующие органы характеризовались повышенным содержанием меди, никеля, свинца, железа. У саженцев ивы концентрации магния, цинка, железа, серы были близки к фоновым значениям, количество большинства остальных элементов достоверно выше, но уровень содержания марганца можно признать дефицитным. Сравнительная листовая диагностика на основе нормируемых уровней по листовым породам (Kopinga J., van der Burg, 1995) (допустимые уровни содержания в листьях калия – 25 г/кг, магния – 5–10 г/кг, фосфора – 5–10 г/кг) указывает на отбор посадочного материала с удовлетворительными характеристиками.

Экологический подход. Через 6 лет после применения экологического подхода для восстановления растительности все формы обменной кислотности грунта техногенной пустоши повысились при снижении актуальной кислотности (повышении pH).

Содержание доступных соединений основных элементов питания (Mg, P, Mn, Zn) увеличилось по сравнению с 2006 г., концентрации калия остались практически на прежнем уровне, кальция снизились более чем в два раза (табл. 4.1).

За период 2004–2005 гг. в листьях ивы произошло статистически достоверное снижение содержания калия, кальция, фосфора, цинка и отмечено достоверное повышение магния, алюминия, железа, меди, никеля, серы по сравнению с исходным посадочным материалом (рис. 4.6). В 2010 г. в листьях ивы отмечено повышение содержания основных элементов питания (Ca, K, P) и снижение концентраций никеля, меди и серы.

Содержание элементов питания при применении сукцессионного подхода, предполагающего внесение удобрений только на первых этапах формирования растительного покрова, оказалось ниже, чем при использовании инвестиционного подхода. Однако этого оказалось достаточно для развития пионерных стадий сукцессий. В 2010 г. отмечено активное заселение участков восстановления растительности с применением экологического подхода местными видами ив, иван-чаем, мхами и другими растениями (рис. 4.5).

Инвестиционный подход. При применении инвестиционного подхода все формы обменной кислотности почвенного слоя остались на прежнем уровне при существенном снижении актуальной кислотности (повышении pH). Известно, что карбонат кальция образует во влажном субстрате буферную карбонатную систему

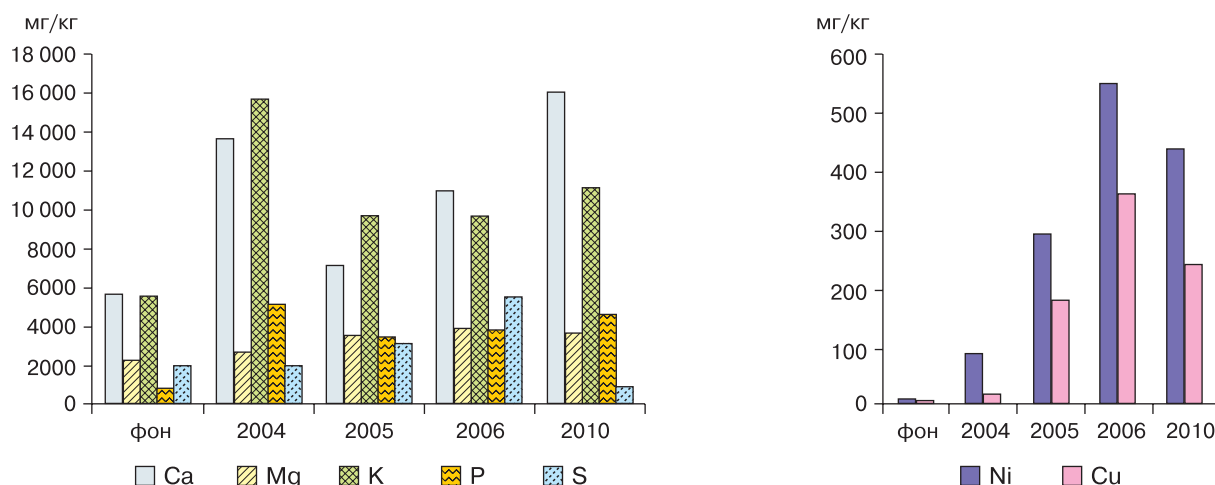


Рис. 4.6. Динамика содержания элементов в листьях ивы на участке с применением экологического подхода.

($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$), которая удерживает pH субстрата на слабощелочном уровне 7,0–7,5. Отмеченные пределы варьирования данного показателя свидетельствуют о поддержании оптимального уровня слабокислой либо слабощелочной среды (pH = 4,6–6,4), что можно считать положительной тенденцией. Уровень кислотности лесных почв фоновых территорий несколько выше (табл. 4.1), что обусловлено биогенным кислотообразованием. Предполагается, что в дальнейшем при функционировании искусственно создаваемого биоценоза (поступлении растительных остатков, гумификации органического вещества компонентов субстрата, деструкции клеток микрофлоры) актуальная кислотность будет постепенно повышаться.

Содержание доступных соединений основных элементов питания (K, Ca, Mg, P, Mn, Zn) в верхнем слое почвы при инвестиционном подходе повысилось по сравнению с 2006 г. Более благоприятная динамика содержания доступных форм элементов питания при применении насыпного грунта может быть связана с его более ярко выраженной барьерной функцией. Однако эта же функция способствовала и возможной аккумуляции в нем никеля в доступных формах.

Вне зависимости от применяемого подхода, инвестиционного или экологического, тенденции изменения содержания элементов в листьях ивы сходны (рис. 4.7). В 2010 г. в листьях ивы отмечено повышение основных элементов питания (Ca, K, P) и снижение концентраций никеля, меди и серы.

Таким образом, содержание доступных для растений соединений никеля и меди в почве как при применении экологического, так и инвестиционного подходов про-

должает увеличиваться. Установлено быстрое снижение доступности основных элементов питания в грунте при экологическом подходе, и заметное увеличение – при инвестиционном. При применении инвестиционного и экологического подходов в листьях ивы отмечено снижение концентраций никеля и меди и увеличение содержания таких элементов как кальций, калий, фосфор. Применение инвестиционного подхода улучшает питательный режим растений и баланс содержания элементов в листьях по сравнению с экологическим подходом, но последний экономически более выгоден. Отмечено, что при применении экологического подхода идет активное заселение участков восстановления растительности местными видами ив, иван-чаем, мхами и другими растениями.

Для корректировки применяемых методов необходим дальнейший мониторинг за состоянием растительности и почв.

Заключение

Дренаживание грунта техногенной пустоши при экологическом подходе способствует более активному механическому переносу мелиорантов и удобрений в нижележащие горизонты, но продолжающаяся техногенная нагрузка вызывает повышение содержания доступных форм тяжелых металлов. Тяжелые металлы, обладающие более высоким сродством к почвенному поглощающему комплексу вследствие хемосорбции оказывают негативное влияние на питательный статус почвы. Учитывая низкие темпы деструкции растительного опада на нарушенных территориях, следует ожидать дальней-

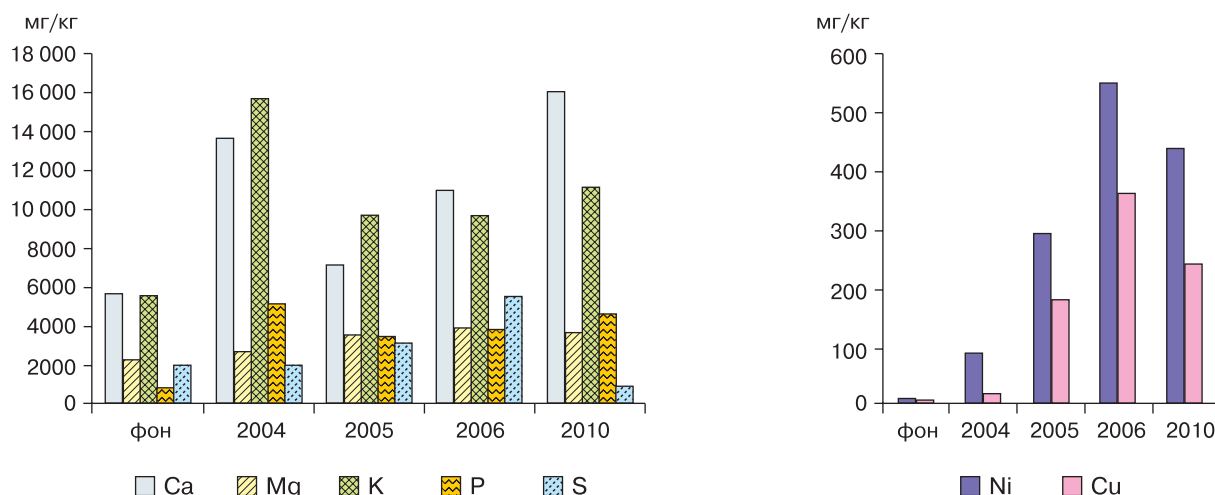


Рис. 4.7. Динамика содержания элементов на участке с применением инвестиционного подхода.

шей аккумуляции поллютантов в поверхностном слое грунта, поэтому необходим контроль изменения мобильности загрязнителей.

После проведения ремедиации вариабельность почвенных характеристик существенно снизилась, и разница между максимальным и минимальным содержанием по большинству элементов не превышает 2–3 раз.

Ремедиационные мероприятия способствовали повышению содержания доступных форм кальция более чем в 20 раз, магния и калия – в 5–6 раз по сравнению с исходным грунтом, но их содержание остается весьма далеким от фоновых значений.

Позитивным моментом при применении инвестиционного подхода является сохранение на прежнем уровне подвижности алюминия и железа. Продолжающееся пыление эродированных поверхностей вблизи участков восстановления, вероятно, способствовало повышению доступности алюминия при экологическом подходе. Однако существенное превышение среднего уровня, характерного для фоновых сосняков (табл. 4.1), ставит под сомнение возможность последующего проведения на территории посадок хвойных пород. Известно, что высокое содержание мобильных форм алюминия отрицательно сказывается на развитии корневой системы и микробиологической активности почвы. При проведении посадок рекомендуется ориентироваться на участки с минимальным содержанием наиболее токсичных подвижных форм алюминия.

Поскольку уровни содержания основных элементов питания (K, Ca, P) в посадочном материале превышали фоновые значения, то говорить о дефиците этих эле-

ментов пока преждевременно. Это связано с исходным значительно более высоким содержанием основных элементов питания в посадочном материале, поскольку его отбор проводился на заброшенных сельхозугодьях с окультуренным слоем. В листьях посадочного материала произошло значительное повышение валового содержания основных поллютантов (Cu, Ni, S). Отмечается тесная взаимосвязь особенностей накопления этих поллютантов между собой, а также с изменением содержания алюминия и железа. Данный факт позволяет сделать предположение, что основной причиной существенного роста поллютантов является сухое осаждение компонентов выбросов и пыление близлежащих эродированных поверхностей и поступление доступных соединений токсичных элементов из почвы через корневую систему. Пылевые осаждения отрицательно влияют на процессы фотосинтеза, дыхания, внекорневого питания. В целях уменьшения данного типа влияния предлагается провести задернение близлежащих территорий техногенной пустоши.

Результаты восстановления растительности на техногенных пустошах в зоне влияния предприятий позволили подтвердить, что регулирование почвенных условий является ключевым моментом в решении проблемы восстановления растительного покрова на территориях, подверженных действию выбросов медно-никелевого производства на Кольском полуострове. Создание в относительно сжатые сроки искусственного растительного покрова, состоящего из многолетних трав-интродуцентов, и оптимизация питательного режима почв способствуют колонизации данных терри-

торий местными видами растений (мхи, иван-чай, хвощи, лиственные древесные и кустарниковые формы растений и т.д.), которые успешно вытесняют интродуцентов.

Литература

1. *Зырин Н.Г., Стоилов Г.П.* Использование метода проростков для определения подвижности микроэлементов в почвах и оценки химических методов // *Агрохимия*. – 1964, № 7, с. 74–79.
2. *Зырин Н.Г., Стоилов Г.П.* Еще раз о возможности использования метода проростков для определения подвижности микроэлементов в почвах // *Агрохимия*. – 1965, № 6, с. 119–128.
3. *Исаева Л.Г., Горбачева Т.Т.* Динамика состава почв и ассимиляционных органов древесно-кустарниковых пород на участках ремедиации в зоне влияния комбината «Печенганикель» // *Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах* (памяти проф. В.В. Никонова). Материалы IV Всерос. конф. с междунар. участием / Учреждение Российской академии наук Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Часть 1. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2011, с. 86–90.
4. *Исаева Л.Г., Лукина Н.В., Горбачева Т.Т., Белова Е.А.* Ремедиация нарушенных территорий в зоне влияния медно-никелевого производства // *Цветные металлы*. – 2011, № 11, с. 66–70.
5. *Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.* Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. – М.: Наука, 2005, 245 с.
6. *Никонов В.В., Лукина Н.В., Исаева Л.Г., Горбачева Т.Т., Белова Е.А.* Восстановление территорий, нарушенных воздушным загрязнением медно-никелевого производства на Кольском полуострове // *Инновационный потенциал Кольской науки*. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2005, с. 288–293.
7. Отчет о научно-исследовательской работе «Восстановление территорий, нарушенных антропогенным воздействием в окрестностях п. Никель», ИППЭС КНЦ РАН. – Апатиты, 2004, 64 с.
8. Отчет о научно-исследовательской работе «Восстановление растительности и мониторинг процессов восстановления на землях, нарушенных под воздействием промышленных выбросов комбината «Печенганикель», ИППЭС КНЦ РАН. – Апатиты, 2005, 71 с.
9. Отчет о научно-исследовательской работе «Восстановление растительности и мониторинг процессов восстановления на землях, нарушенных под воздействием промышленных выбросов комбината «Печенганикель», ИППЭС КНЦ РАН. – Апатиты, 2006, 54 с.
10. *Halonen O., Tulkki H., Derome J.* Nutrient analysis methods // *Metsantutkimuslaitoksen tiedonantoja*. – 1983, vol. 121, pp. 1–28.
11. *Kopinga J., van den Burg J.* Using soil and foliar analysis to diagnose the nutritional status of urban trees // *J. Arboric.* – 1995, vol. 21, pp. 17–24.

4.2. Наблюдение и оценка состояния лесных экосистем в государственном природном заповеднике «Пасвик»

Государственный природный заповедник «Пасвик» расположен в северо-западной части Мурманской области и протягивается узкой полосой вдоль реки Паз на приграничной территории. Сосновые и березовые леса занимают 44% от общей площади заповедника (Поликарпова, 2006). Преобладают сосняки кустарничково-зеленомошные и кустарничково-лишайниково-зеленомошные, большей частью производные. Березовые коренные леса располагаются вдоль берега реки Паз, вторичные – чаще образуют второй ярус в смешанных сосново-березовых древостоях. На расстоянии 10–20 км от крайней северной точки заповедника на восток и северо-восток находится промышленная площадка «Никель» ОАО «Кольская ГМК», оказывающая негативное воздействие на окружающую среду. Воздушное промышленное загрязнение – крупномасштабный фактор, определяющий современное состояние лесов. Леса на северном пределе распространения в силу своих биологических особенностей отличаются повышенной уязвимостью (Макарова, Поликарпова, 2008). Выбросы комбината оказывают на лесные экосистемы прямое (фумигация, выщелачивание элементов питания из ассимилирующих органов и др.) и опосредованное (изменение кислотности и питательного режима почв, снижение устойчивости к грибным болезням, экстремальным климатическим условиям и т.д.) воздействие.

В последнее время происходит снижение количества выбросов тяжелых металлов (Cu, Ni, Co) как в связи с отказом от норильской руды в пользу более бедной местной, так и улучшением методов очистки. В этой связи актуальной становится оценка состояния лесных экосистем, подверженных воздействию медно-никелевого производства, выявление изменений, происходящих в различных компонентах природной среды: атмосферных осадках, почве, почвенных водах, древесном ярусе и напочвенном покрове.

Системный экологический мониторинг, разработанный в заповеднике «Пасвик», впервые был использован для экологической оценки влияния комбината на состояние природной среды в 2006–2007 гг. (Хлебосолов и др., 2008). Один из стационаров мониторинговой сети был расположен на севере заповедника «Пасвик» (см. главу 3). В качестве основных объектов мониторинга были выбраны почвы, растительный покров, беспозвоночные и позвоночные животные.

В 2009 г. сотрудниками Института леса Карельского научного центра РАН было впервые проведено рекогносцировочное лесопатологическое обследование и оценка состояния лесов заповедника «Пасвик» и его окрестностей (Отчет..., 2009; Руоколайнен и др., 2011). Результаты исследований показали, что внешние признаки ухудшения состояния насаждений отсутствуют.

В рамках Конвенции по трансграничному воздушному загрязнению (CLRTAP) в 1985 г. Европейская экономическая комиссия объединенных наций (UNECE) учредила Международную кооперативную программу по оценке и мониторингу влияния воздушного загрязнения на леса – ICP Forests, в которой участвует 40 государств. В соответствии с Конвенцией 1985 г. (CLRTAP UNECE) и согласно соглашению 1987 г. мониторинг по программе ICP Forests должен проводиться в следующих субъектах Российской Федерации: Мурманская область, Республика Карелия, Ленинградская область, Новгородская область, Псковская область, Калининградская область. Единым национальным координационным центром (НКЦ) международной программы ICP Forests в России назначен Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН). В настоящее время по выполнению программы на территории региона сотрудничают следующие организации: ФГУ «Российский центр защиты леса», Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН) Лапландский государственный природный биосферный заповедник и государственный природный заповедник «Пасвик». ЦЭПЛ РАН как НКЦ ICP Forests осуществляет научно-методическое сопровождение работ по мониторингу лесов.

Основные направления мониторинга состояния лесов в России по данной Программе следующие: оценка состояния древесных растений и напочвенного покрова, состояния почв, биоразнообразия, оценка влияния воздушного промышленного загрязнения и климатических изменений на леса.

Программа мониторинга ICP Forests уровня II (или интенсивного мониторинга) направлена на установление взаимосвязей между состоянием лесных экосистем и природными и антропогенными факторами посредством мониторинга на выбранных пунктах наблюдения (Методика..., 2008). Для интенсивного мониторинга уровня II выбираются площадки постоянного наблюдения (ППН) на сети уровня I, представляющие наиболее распространенные типы лесов. Заповедник «Пасвик» участвует в реализации программы ICP Forests с 2009 г.

Объекты и методы исследований

На территории заповедника созданы две мониторинговые площадки постоянного наблюдения (ППН) II уровня: в сосняке лишайниково-бруснично-зеленомошном (в окрестностях п. Янискоски) и в березняке разнотравном (в долине р. Паз, вблизи острова Варлама, южная часть заповедника). Для организации станций II уровня заповеднику было поставлено полевое оборудование (осадкоприемники и лизиметры) Финским лесным исследовательским институтом (METLA, г. Рованиemi), изготовленное по международным стандартам и рекомендуемое к использованию программой ICP Forests.

На ППН интенсивного мониторинга (уровень II) заповедника в настоящее время проводятся следующие работы: 1) отбор атмосферных осадков (через 4 недели в течение года); 2) отбор почвенных вод (4–5 раз в вегетационный период – одновременно с отбором осадков); 3) отбор и химический анализ образцов почвы (каждые 10 лет); 4) отбор и химический анализ образцов ассимилирующих органов древесных растений (каждые 2 – 5 лет); 5) оценка напочвенного покрова (каждые 2 года).

На каждой площадке II уровня установлены 23 осадкоприемника (рис. 4.8): 20 под кронами и 3 на открытых участках (в межкромовом пространстве). Атмосферные выпадения отбираются каждые четыре недели, при этом выполняется измерение объема осадков на каждом приемнике и их общий объем. Осадки с каждого приемника сливаются в одну емкость, смешиваются, затем отбирается 1 л смешанной пробы на анализ. Для сбора снега в холодное время года служат снегоборники (рис. 4.9).

Для изучения химического состава атмосферных выпадений пробы подвергают глубокой заморозке до начала анализов. pH вод определяют потенциометрически (лаборатория заповедника «Пасвик»), катионы (Al, Fe, Ca, Mg, K, Mn, Zn, Ni, Cu, Na, Si) – методами атомно-абсорбционной спектрофотометрии и эмиссионного спектрального анализа с использованием в качестве источника возбуждения индуктивно связанной плазмы, SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- – методом ионной хроматографии, NH_4^{4+} и P – колориметрически (ИППЭС КНЦ РАН).

Для отбора почвенных вод на каждой пробной площадке установлено по 12 гравитационных лизиметров (рис. 4.10) по почвенным горизонтам (A0, B_{hfa}, BC) на глубине 5, 20 и 40 см с учетом парцеллярной структуры. Перед установкой лизиметра специальным буром (d = 30 см) извлекают неповрежденный почвенный монолит с необходимой глубины, затем буром мень-



Рис. 4.8. Летний осадкоприемник (фото Н.В. Поликарповой).



Рис. 4.9. Снегосборник (фото Л.Г. Исаевой).

Рис. 4.10. (часть 1 и 2) Лизиметр и отбор почвенных вод (фото Н.В. Поликарповой).



шего диаметра делают углубление для приемной бутылки. После установки лизиметра почвенный монолит возвращают на место.

Отбор почвенных вод проводится специальным насосом, измеряется объем воды с каждого лизиметра, смешанные пробы делаются по каждой глубине отдельно, поэтому на анализ в лабораторию готовится 3 пробы с площадки.

Программа мониторинга рассчитана на несколько лет. Отбор атмосферных выпадений и почвенных вод начат заповедником в октябре 2009 г. Регулярный отбор проб почвенных вод и атмосферных выпадений осуществляется сотрудниками заповедника; отбор образцов почв, ассимилирующих органов растений, оценка напочвенного покрова и химико-аналитические исследования образцов проводятся сотрудниками лаборатории наземных экосистем ИППЭС КНЦ РАН.

На территории заповедника в районе расположения ППН в сосняке лишайниково-бруснично-зеленомошном и в березняке разнотравном в августе 2010 г. сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН в соответствии с Международной кооперативной программой мониторинга лесов ICP Forests заложены постоянные учетные площадки по оценке напочвенного покрова общей площадью 400 м², из них три по 100 м² и четыре по 25 м² (всего по 7 учетных площадок на каждой ППН). На учетных площадках устроена система постоянной маркировки границ колышками. На каждой площадке сделано описание видового состава растительности и определено видовое обилие, кроме того, рассчитывалась площадь проекции крон древесных пород. Выполнен отбор проб хвои сосны и листьев березы в 5-ти повторностях, почвенных образцов – по 5 проб под кронами деревьев и по 5 проб в межкрупном пространстве на каждой ППН. В настоящее время проводится анализ растительных и почвенных образцов и обработка данных в соответствии с руководством программы мониторинга лесов ICP Forests.

Результаты

Для однозначных выводов о том, какой стационар претерпевает наиболее сильное аэротехногенное загрязнение, необходимо получить данные как минимум за пять лет. В настоящее время можно говорить о том, что на заповедные экосистемы оказывается определенное химическое воздействие, несмотря на благоприятную розу ветров.

Крайне важно продолжать исследования, накапливая информацию для межгодовой динамики химического

загрязнения атмосферных осадков. В будущем необходимо определить участие трансграничного переноса веществ в результатах химического анализа проб, чтобы рассчитать вклад промышленных площадок ОАО «Кольская ГМК», расположенных в п. Никель и г. Заполярный, в общее аэротехногенное загрязнение. Без получения материалов натуральных наблюдений на высоком методическом уровне невозможно сформировать корректное представление о современных экосистемных процессах, оценить критические нагрузки на наземные экосистемы, предложить подходы к их диагностике и мониторингу.

Материалы наблюдений в районе воздействия ОАО «Кольская ГМК» несомненно послужат информационной базой для оценки и прогноза состояния экосистем, позволят руководству предприятия грамотно планировать природоохранные мероприятия, направленные на сохранение и поддержание лесных экосистем.

Источники

1. Макарова О.А., Поликарпова Н.В. Антропогенная динамика лесных экосистем заповедника «Пасвик» // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы всерос. конф. с международ. участием. Часть 1. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008, с. 126–129.
2. Методика мониторинга лесов по международной программе ICP Forests. – М., 2008, 46 с.
3. Отчет по теме «Инвентаризация флоры и фауны наземных экосистем заповедника «Пасвик» и его окрестностей». Институт леса Карельского НЦ РАН. – Петрозаводск, 2009, 57с. Архив государственного природного заповедника «Пасвик».
4. Поликарпова Н.В. Особенности природных условий северо-запада Кольского полуострова, определяющие биоразнообразие заповедник «Пасвик» // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тян-Шанского) (10–12 октября 2006 г., г. Апатиты). – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2006, с. 170–172.
5. Руоколайнен А.В., Крутов В.И., Химич Ю.Р. Афиллофоровые и фитопатогенные макро- и микромицеты лесов заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Труды Карельского НЦ РАН. – 2011, №2, серия Биогеография, вып. 12, с. 29–34.
6. Хлебосолов Е.И., Поликарпова Н.В., Хлебосолова О.А., Зацаринный И.В., Трушицына О.С., Зуев Н.В. Экологический мониторинг состояния природной среды в районе действия ОАО «Кольская ГМК» (промплощадки «Никль» и «Заполярный» и территории заповедника «Пасвик») // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы всерос. конф. с международ. участием. Часть 1. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008, с. 168–173.

4.3. Проекты и инициативы ОАО «Кольская ГМК» в области рационального природопользования и охраны окружающей среды (по материалам ОАО «Кольская ГМК»)

Производственная деятельность Кольской горно-металлургической компании сопровождается выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух и поверхностные воды, а также размещением отходов, оказывающих воздействие на состояние наземных экосистем.

С целью уменьшения воздействия предприятий на окружающую среду в 1997–2011 гг. на промышленных площадках «Никель» и «Заполярный» были реализованы различные проекты по модернизации производства (см. главу 1). Согласно данным Компании в результате принятых мер за последние пятнадцать лет выбросы диоксида серы снизились в 2,5 раза, с 253,3 тыс. тонн в 1997 г. до 103,0 тыс. тонн в 2011 г. (рис. 4.11).

В 2011 г. Компания на площадке «Заполярный» закончила строительство участка брикетирования концентрата вместо участка обжига. После внедрения данной технологии выбросы диоксида серы от технологических процессов снизятся практически в 50 раз, с 44,7 тыс. тонн до 933 тонн.

Последние восемь лет Компания укладывается в норматив временно-согласованных выбросов, который выдается предприятиям на время проведения работ по модернизации производства соответствующими надзорными органами.

Достижение такого результата потребовало существенных материальных затрат (рис. 4.12).

Оценка качества атмосферного воздуха

Медно-никелевое производство оказывает значительное влияние на состояние атмосферного воздуха вблизи производственных мощностей, поэтому важной задачей Компании является наблюдение за качеством воздуха и его изменениями в населенных пунктах, расположенных вблизи предприятий (п. Никель и г. Заполярный).

В рамках сотрудничества с Мурманским управлением гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды были получены данные о концентрации загрязняющих веществ в этих населенных пунктах в 2009–2011 гг.

Мониторинг состояния качества атмосферного воздуха в п. Никель показал, что концентрации взвешенных веществ, оксида углерода и диоксида азота не превышали допустимую санитарную норму. Среднегодовая концентрация диоксида серы также была ниже порогового значения данного норматива. В 2009 г. по данным непрерывных измерений содержание сернистого анги-

дрида составляло 1,4 ПДК. Анализ хода динамики величины среднемесячных значений показал, что концентрация превышала санитарную норму в период с мая по август. В 2010 г. среднегодовая концентрация диоксида серы в атмосферном воздухе продолжала снижаться (1,2 ПДК), а значения не превышали уровень санитарной нормы. При этом в течение года превышения среднемесячных концентраций сернистого ангидрида наблюдали только в августе и декабре. В целом, анализ динамики изменения концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе в 2009–2010 гг. в п. Никель показал, что разовые повышения его содержания регистрируются преимущественно при неблагоприятных метеорологических условиях. Оценка характера изменения среднемесячных значений уровня концентрации металлов (включая ртуть) в атмосфере показывает, что их количественные показатели не превышают допустимой санитарной нормы.

Результаты мониторинга атмосферного воздуха в 2011 г. в п. Никель свидетельствуют о том, что концентрации взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида азота, металлов, включая ртуть, не превышали допустимую санитарную норму. Уровень загрязнения атмосферы был повышен только по единичному показателю концентрации диоксида серы. По комплексному показателю (по пяти параметрам) уровень загрязнения был оценен как низкий – величина ИЗА5 была равна 3 (повышенное значение ИЗА характеризуется показателями 5–6; высокое – 7–13).

Оценка состояния качества атмосферного воздуха в г. Заполярный в 2009–2011 гг. показала, что концентрация взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида азота не превышала допустимую санитарную норму. Среднегодовая концентрация диоксида серы в атмосфере соответствовала уровню данного норматива. Расширенный анализ межгодовых вариаций среднегодовой концентрации сернистого ангидрида свидетельствует о том, что по данным непрерывных измерений в 2009 г. при пиковых значениях она составляла 1,8 ПДК, в 2010–2011 гг. – 1,7 ПДК. В то же время анализ среднегодовой концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе по данным наблюдений стационарного поста описывает несколько иной вариационный ряд. В 2010 г. значения находились на уровне 1,3 ПДК, в 2011 г. – 1,0 ПДК. Следует отметить, что в г. Заполярный так же как и п. Никель, повышенные разовые концентрации сернистого ангидрида были зарегистрированы преимущественно при неблагоприятных метеорологических условиях. Анализ состава атмосферного воздуха на содержание формальдегида, проведенный в 2010–2011 гг., свидетельствует о том, что концентрация данного вещества

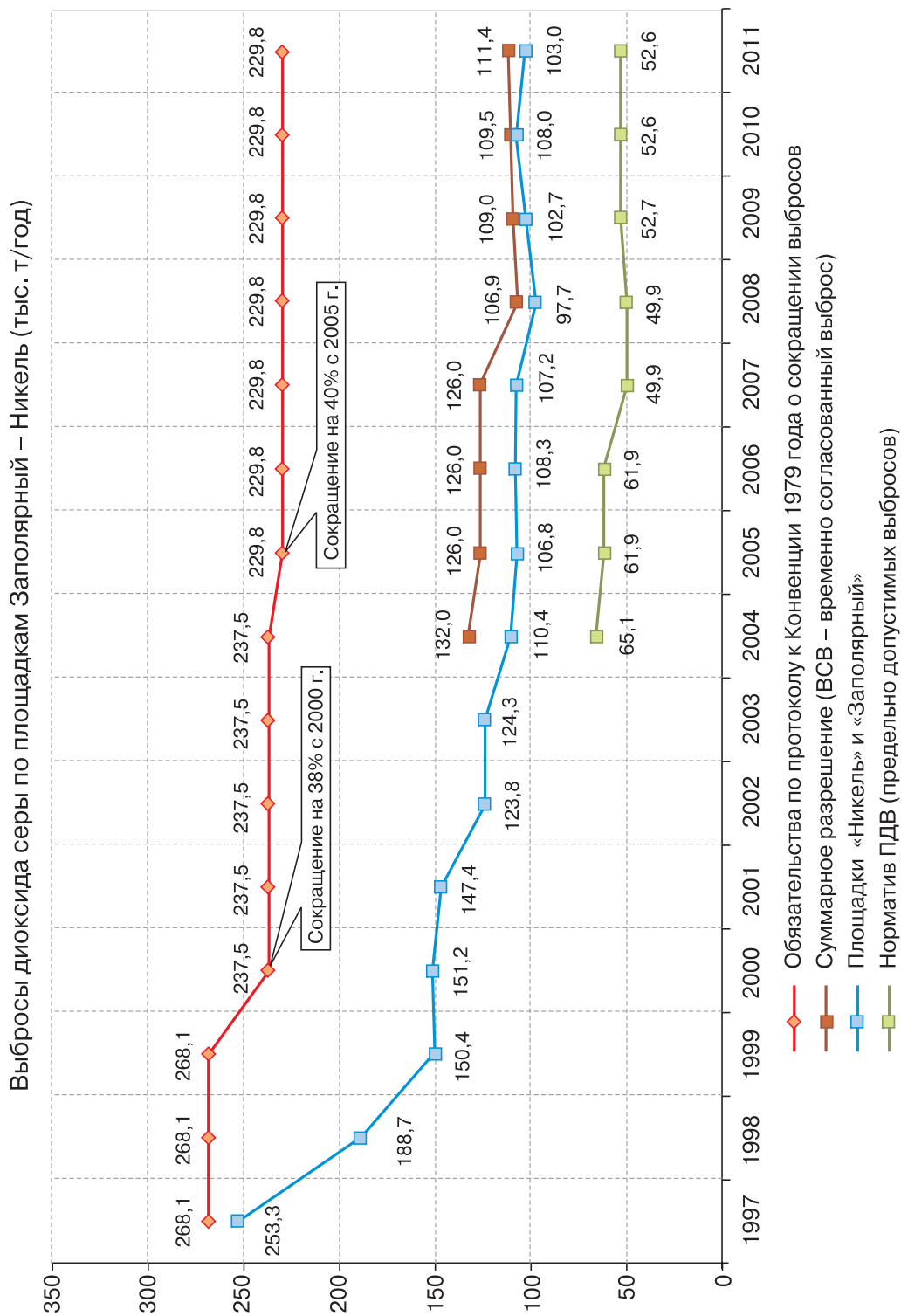


Рис. 4.11. Выбросы диоксида серы на площадках «Никель» и «Заполярный» (тыс. тонн в год).

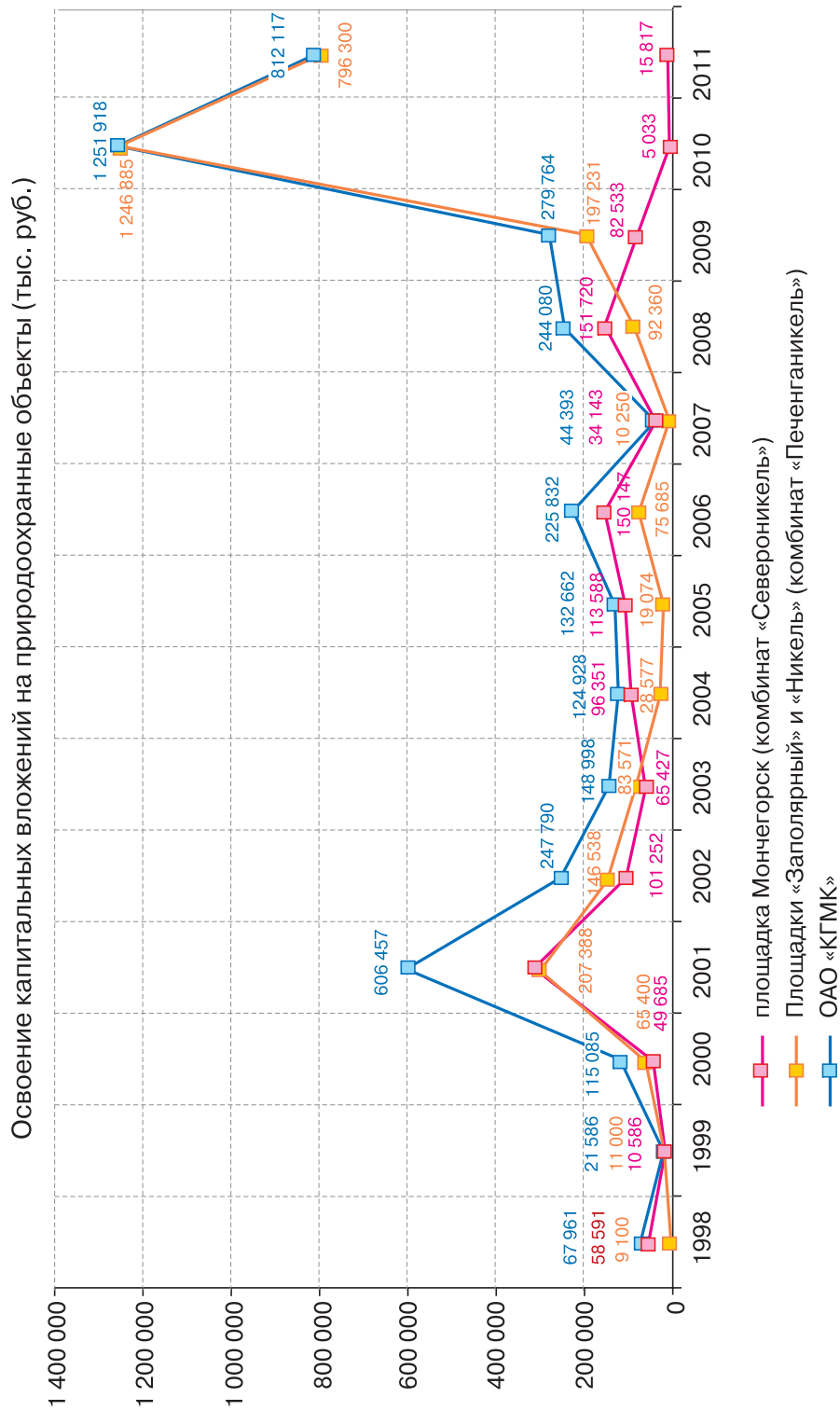


Рис. 4.12. Освоение капитальных вложений на природоохранные объекты (тыс. руб.).

в атмосфере была ниже уровня ПДК. Концентрации металлов в атмосфере не превышали допустимую норму.

Таким образом, мониторинг качества атмосферного воздуха на двух промышленных площадках комбината за последние три года по всем показателям, кроме концентрации диоксида серы, удовлетворяет допустимым санитарным нормам. Видна четкая тенденция снижения концентраций загрязняющих веществ. Вместе с тем, имеют место разовые превышения концентраций диоксида серы, обусловленные неблагоприятными метеорологическими условиями.

С целью снижения неблагоприятного воздействия предприятий на окружающую территорию в случае нестандартной синоптической ситуации в Компании проводятся специальные организационные мероприятия, которые осуществляются на основе «Плана работы при неблагоприятных метеорологических условиях», утвержденного Генеральным директором Компании и согласованного с представителями всех заинтересованных надзорных органов. В соответствии с данным документом, мощность производства снижается (вплоть до его полной остановки) при фиксации на постах наблюдения, принадлежащих Компании и Росгидромету, определенной, установленной действующим законодательством концентрации диоксида серы. По данным ОАО «Кольской ГМК», в 2011 г. такие действия производились 94 раза, а общее время ограничения и простоя производства составило 903 часа. За девять месяцев 2012 г. аналогичные мероприятия осуществлялись 73 раза, а их продолжительность составила 714 часов.

В марте 2010 г. ОАО «НИИ Атмосфера» по заказу ОАО «Кольская ГМК» были выполнены экспериментальные работы по определению уровней загрязнения атмосферного воздуха в районе между промышленными площадками и российско-норвежской границей с использованием аналитической техники, имеющей все необходимые метрологические аттестаты.

Данные измерения не выявили превышений действующих российских нормативов качества атмосферного воздуха. По данным ОАО «НИИ Атмосфера», в период с 15 по 30 марта 2010 г. текущая концентрация диоксида серы, инструментально определенная в точках замеров, составляла от 0 до 0,00513 мг/м³. Среднесуточная ПДК оказалась значительно ниже российских гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, составляющего 0,05 мг/м³, а также ниже уровня, определенного норвежской стороной как допустимого для экологического сообщества (фауны и флоры), составляющего 0,04 мг/м³.

Приборы, установленные в п. Раякоски и непрерывно в течение суток фиксирующие концентрации диокси-

да серы на протяжении 11 дней (с 20 по 30 марта 2010 г.), показали изменения среднесуточной концентрации в пределах от 0,004 до 0,007 мг/м³. Один раз (28 марта) при неблагоприятных метеорологических условиях была зафиксирована среднесуточная концентрация 0,024 мг/м³.

ОАО «НИИ Атмосфера» было проведено моделирование переноса и выпадения загрязняющих веществ (выбросов ОАО «Кольская ГМК») на территорию Норвегии. Для расчета использовалась унифицированная модель EMEP, официально признанная в качестве инструмента Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, членами которой являются Норвегия и Россия. Эти расчеты выявили превышение критических нагрузок только в одной клетке расчетной сетки, не превышающей размеры территории 50 на 50 км вокруг предприятий ОАО «Кольская ГМК». Данная зона превышений действительно захватывает незначительную часть территории Норвегии, что ни в коем случае не может быть трактовано как факт преобладающего негативного воздействия Российской Федерации на окружающую среду всей Норвегии. В соответствии с заключением ОАО «НИИ Атмосфера», при оценке влияния российских источников загрязнения атмосферы на окружающую среду Норвегии необходимо учитывать, что превышение критических нагрузок происходит вследствие суммарного воздействия всех источников, расположенных в приграничных районах России и Норвегии и других стран ЕС, а не только выбросов ОАО «Кольская ГМК».

Мониторинговые исследования состояния окружающей среды

Помимо технических мероприятий, направленных на модернизацию производства, Компания инициировала проведение различных мониторинговых исследований вблизи промышленных площадок «Никель» и «Заполярный», выполняемых сторонними организациями. На протяжении многих лет оценку состояния окружающей среды и здоровья населения данной территории проводит ряд государственных учреждений. ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» оценивает влияние предприятий на состояние здоровья населения. ЦЛАТИ по Мурманской области и Росгидромет проводят мониторинг качества воды рек. ГПЗ «Пасвик» ведет мониторинг состояния природной среды в районе действия АО «ГМК Печенганикель». Кольский НЦ РАН выполняет мониторинг природной среды в районах, подвергающихся воздействию выбросов предприятий ОАО «Кольская ГМК». Санкт-Петербургская государственная

лесотехническая академия и Государственный институт прикладной экологии изучают состояние экосистем в окрестностях п. Никель.

Государственный природный заповедник «Пасвик» с 2006 г. проводит исследования, направленные на мониторинг состояния наземных экосистем в Печенгском районе вблизи промышленных площадок комбината, а также на территории самого заповедника. Так, например, в 2009 г. были обследованы старовозрастные сосновые леса заповедника, которые являются уникальными природными объектами, как самые северные в Европе и слабо нарушенные хозяйственной деятельностью человека. Их состояние было оценено как удовлетворительное. В ходе данной работы явных внешних признаков повреждения деревьев, вызванных влиянием выбросов ОАО «Кольская ГМК», не обнаружено. Возраст хвои в среднем составляет 5–8 лет и прямой зависимости между продолжительностью ее жизни и расстоянием от предприятий не прослеживается. Следов массового изменения цвета хвои или листьев деревьев также не отмечено. Не наблюдается и явного увеличения числа поврежденных и усыхающих деревьев на территории заповедника в точках близко расположенных от предприятий. Прирост по высоте и диаметру деревьев соответствует возрасту и условиям местопроизрастания. Повсеместно отмечены отдельные случаи суховершинности сосны в возрасте более 350 лет, однако, в виду отсутствия сопутствующих признаков повреждения можно предполагать, что это результат естественного старения растений.

Результаты других исследований показывают, что радикальных или катастрофических изменений в состоянии природных сообществ в последние годы не происходит. Анализ состава и структуры растительности, разнообразия беспозвоночных и позвоночных животных на территориях, расположенных на разном расстоянии от промышленных объектов, показывает, что в целом ситуация остается стабильной (см. главу 3).

Научные исследования состояния окружающей среды вблизи комбината «Печенганикель» также ведет Кольский научный центр РАН (КНЦ РАН). С 2004 г. работы по рекультивации и озеленению территорий, пострадавших от аэротехногенного воздействия проводятся на территориях Печенгского района, где располагаются производственные мощности комбината «Печенганикель» (рис 4.1).

Для выбора оптимального варианта озеленения и минимизации затрат силами Института проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН были проведены эксперименты на пилотных участках. На ос-

новании полученного опыта были разработаны рекомендации по дальнейшему озеленению с минимальным использованием привозного плодородного слоя почвы.

В настоящее время в ОАО «Кольская ГМК» обсуждается концепция дальнейшего развития производства по принципиально новой технологической схеме, которая позволит сосредоточить все производственные мощности в г. Заполярный. Для этого Компанией ведутся переговоры с зарубежными партнерами на уровне обсуждения технико-коммерческих предложений. Длительная проработка вопросов обусловлена тем обстоятельством, что существующее в настоящий момент состояние железнодорожной транспортной инфраструктуры от г. Заполярный до п. Никель уже не позволяет своевременно обеспечить необходимый грузопоток. В связи с этим проблема модернизации данного участка дороги оказывает определенное влияние на логистические транспортные решения Компании. Проводимая в настоящий момент модернизация производственных мощностей на площадках «Никель» и «Заполярный» подразумевает значительный рост грузоперевозок по этой железнодорожной ветке, поскольку, например, производство серной кислоты по окончании модернизации вырастет почти в два раза относительно существующего сейчас уровня. Таким образом, в ряде случаев усилия Компании по модернизации производства и уменьшению его влияния на наземные экосистемы не могут быть оптимально реализованы, поскольку выполнение производственных и экологических задач на данной территории требует участия в их решении и других, независимых от Компании, хозяйствующих субъектов.

Подводя итог, следует отметить, что производственная деятельность ОАО «Кольская ГМК» (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный») оказывает влияние на окружающую среду в близлежащих населенных пунктах и их окрестностях. Добыча и переработка сульфидных медно-никелевых руд, производство фаншпейна и серной кислоты связаны с выбросами соединений серы и пыли, содержащей цветные металлы, в том числе никель и медь. Вместе с тем, Компания предпринимает меры по сокращению аэротехногенного воздействия на наземные экосистемы. Функционирование предприятий в условиях крайнего севера и их положение в непосредственной близости от государственной границы накладывает на Компанию дополнительные экологические обязательства и предполагает дальнейшее развитие научных исследований и поиск оптимальных способов улучшения экологической ситуации на северо-западе Кольского полуострова.

Summary

The north-west of Kola Peninsula has been inhabited by people involved in agriculture for a long time. The local inhabitants (the Sami, the Russians, the Norwegians, the Finns) have been deploying the area's rich resources for many centuries: they fished, bred deer, cut the forests, hunted, practiced agriculture. The territory development was accompanied by the gradual transformation of land ecosystems. At the beginning of the XXth century the first geo-ecological problems emerged in this region (reduction of biological diversity, soil degradation, forest clearance).

In 1912 Russian geologist S.A. Conradi discovered nickeliferous fields in the area between Pechenega and Paza rivers. The field survey and development were carried out by the Finnish Geological Survey and «Inco» company. In November 1944 «Pecheneganickel» plant for copper-nickel ores mining and processing was established by the USSR Ministry of Nonferrous Metals Industry in Pechenega district of Murmansk region. Construction of mines, roads, settlements, infrastructure as well as harmful contaminant impact (mainly release of SO₂, Ni, Cu) were accompanied by a significant transformation of land ecosystems in the area of the industrial sites. In 70–80s the ecological situation worsened dramatically. It was caused by expanding of the plant capacity and starting of Norilsk ore processing. Utilization of the new raw materials with high sulfur content didn't correspond with the technological scheme of production which led to rapid degradation of the land ecosystem in the vicinity of Nickel village and Zapolyarny town. The degradation had irreversible consequences.

Since early 1990s harmful waste reduction has been one of the priorities in «Pecheneganickel» (since 1999 – Kola Mining and Metallurgical Company) environmental policy. By that time the utilization of Norilsk ore was completely stopped and a large-scale plant reconstruction and production upgrading were carried out. These measures resulted in reducing hazardous pollutant emission.

Over the last decade Kola Mining and Metallurgical Company initiated a regular research aimed at monitoring of air, surface and underground waters, soil condition as well as monitoring research of plant and animal tracer groups. The researches were carried out by independent organisations, including Murmansk Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, «Atmosphere» Research Institute, Hygiene and Epidemiology Center, «Pasvik» State Nature Reserve, Institute of North Industrial Ecology Problems of Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, State Institute of Engineering Ecology, etc.

In 2003–2006 integrated research within the international project «Development and Implementation of the Environmental Monitoring and Assessment Program in the joint Finnish, Norwegian and Russian Frontier Area» («Pasvik Program») was carried out in the area of «Nickel» and «Zapolyarny» industrial sites and the frontier area. More than twenty research institutions, environmental organisations and regional authorities in Russia, Norway and Finland took part in this research. In the course of the «Pasvik Program» implementation a network of experimental sites was created for monitoring of land ecosystems located within different distances from the plant. Moss, birch and blueberry leaves, pine needles, epiphytic lichens on the trunks of birch trees were chosen as pollution indicators.

The results showed that accumulation of heavy metals in soil has taken a long period (all 80 years of copper-nickel production in the area) and the degree of the accumulation depends on the distance from the plant. To a large extent the soil condition specifies the state of ground cover and forest stand: the most unfavorable situation (according to all bioindicators)

is revealed in the vicinity of industrial facilities, and the most favorable – to the west of the plant (in the frontier area). Combined application of the employed methods made it possible to evaluate impact of the main factors, to determine the degree of pollution, to carry out the territory zoning.

Since the 1980s till nowadays Institute of North Industrial Ecology Problems of Kola Science Center (Russian Acad. Sci.) has been involving in the monitoring research of land ecosystem condition in the frontier area. During the long-term observations data on the content of chemical elements in the assimilatory organs of trees, green mosses, lichens and wild berries under changing conditions of emission strength were obtained. The data allow to describe the current state and long-term trends of nutritive regime in northern taiga forests on the base of plant mineral nutrition parameters. Analysis of heavy metal (Ni, Cu, Cd, Pb, Co) content in wild berries (blueberries, cranberries, crowberries and cloudberries) within various distances from industrial sites shows that the content increases when approaching to the plant, and is higher than average content of the elements in berries.

The important part of the Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Center (Russian Acad. Sci.) activity is vegetation restoration study in affected areas in the vicinity of «Nickel» and «Zapolyarny» industrial sites. On the base of long-term experimental and industrial remediation work on technogenic wastelands some possible approaches have been suggested and tested. The results of foliar diagnosis of planting material and analysis of soil elements accessible to plants show that regulation of soil conditions is the key point in solving the problem of revegetation in the areas exposed to emission caused by copper and nickel production.

One of the most promising tendencies in forest ecological monitoring within area of mining and metallurgical plant activity is an international program of evaluation and monitoring of aerial contamination impact on the forest («ICP Forests»). In 2009 two monitoring sites were set up in the «Pasvik» State Nature Reserve where sampling and analysis of atmospheric precipitation, soil and soil water, woody plant parts, and evaluation of ground cover state were carried out. Nowadays data collection for evaluation of «Kola MMC» and its impact on land ecosystems in the vicinity of the Russian-Norwegian border, development of critical loads, etc. are carried out.

In 2006 a system ecological monitoring program developed by research group of Ryazan State University in cooperation with «Pasvik» State Nature Reserve staff and other organisations was launched. In comparison to the traditional methods aimed at studying condition of certain ecosystem components and their changes through time, the system ecological monitoring intends to assess ecosystem as a whole basing on analysis of hierarchical connection system provided its functioning. Observation on the leading environmental factors and the nature of their relationship in terms of common animal and plant species makes it possible to organize long-term monitoring, to mark the most significant changes and to evaluate the ecosystem condition on any moment regime.

The program provides research on three inter-related levels: 1) study of biological community diversity and features of their functioning; 2) revealing rate of pollutant accumulation in animals and plants; 3) study of copper-nickel production impact on soil condition, transformation of original landscapes. Disturbed ecosystems (wastelands that replaced mountain birch sparse forest in the plant activity area) and natural ecosystems (mountain birch sparse forest in less contaminated or relatively contaminated areas) were target objects of the monitoring research.

To study the biological diversity some model groups of organisms the most sensible to pollution and considered as dominants and edificators of natural ecosystems (common species) were chosen; parameters for their description and study methods were defined. Observations on Passeriformes, Arachnida and insects inhabiting soil surface, grass-shrublet and tree-

shrublets were carried out. Research stations, count routes and sites for annual monitoring research in the zones of strong, medium and weak aerial contamination by copper and nickel emissions were established.

Counts of Passeriformes were made every year. Comparative analysis of fauna composition and bird abundance in birch mountain sparse forests within the whole observation period (2006–2012) shows that the further you move away from the industrial plant, the more species you can find, and the population density increases. Bird population structure typical for the birch forest can be seen at the distance of 18 km from the plant and further on («Pechenga» and «Reserve's North» research stations). The analysis of long-term dynamics of bird abundance shows that number of birds increased almost in all stations during 2009–2011 compared to 2006–2008. It is caused by natural transformation of forest ecosystems in the north-west of Kola Peninsula and some successions that take place in certain types of bird habitats.

Counts of Carabidae were carried out on model sites in 2007 and 2010–2011. About 20 species of Carabidae related to 16 genera were found. The majority of species found in the intensive antropogenic pollution zones are not in fact belonged to the habitats. Moving further away from the industrial plants we can see that diversity of Carabidae increases significantly as well as some species population density does. Composition of species and biological groups as well as life form range change dramatically. Negative impact on Carabidae community structure was revealed only in the zone of direct plant activity («Nickel» and «Zapolyarny» stations). At the distance of 14 km («Gulfstream» station) the impact wasn't significant. Typical kinds of forest exist here, but Carabidae catching efficiency is still low. Farther on from the industrial sites («Pechenga» and «Reserve's North» stations) Carabidae complexes typical for undisturbed northern forests are being formed.

Formicidae species variety and abundance were observed every year on the research stations. Nine species belonged to three genera (7 in Formicinae 2 in Myrmicinae) were found. The data analysis shows that the first stage of antropogenic degradation of birch mountain sparse forests leads to increase of obligate dominant species and to subsequent dominant structure amplification.

In 2012 research aimed at studying the modern state of landscapes close to «Nickel» and «Zapolyarny» industrial sites were begun. They show that the level of landscapes' transformation depends on the distance from the plant and other factors (region's relative altitude, humidity, nearness to waterstreams). The transect method used allows to clarify a border of pollution areas and create the more diverse monitoring network.

The results of land ecosystem condition monitoring in the area of «Nickel» and «Zapolyarny» industrial sites of Kola Mining and Metallurgical Company suggest the importance of further research. They would allow to get representative data, to discover minor changes in the structure and functioning of land ecosystems, to specify borders of polluted areas, to carry out process of modelling and prognosis. The publication of scientific results promotes the development of ecological transparency and environmental responsibility of Kola Mining and Metallurgical Company, search for appropriate methods of ecological situation improvement in the north-west of Kola Peninsula.

Научное издание

**Кольская горно-металлургическая компания
(промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»):
влияние на наземные экосистемы**

Под общей редакцией О.А. Хлебосоловой

Верстка – *Кушель Ю.А.*
Ответственная за выпуск – *Рябко Н.А.*

Издательство некоммерческого партнерства
по реализации государственной информационной политики
«Голос губернии». 390023, г. Рязань, ул. Горького, 14.
Тел./факс (4912) 25-65-65.
Подписано в печать 6.11.12. Бумага мелованная. Формат 210 x 260 мм.
Печ. л. 11,5. Гарнитура FreeSet. Печать офсетная.
Тираж 300 экз. Заказ № 1141