

На правах рукописи



САЛТАН Наталья Владимировна

**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ
ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА
«СЕВЕРНИКЕЛЬ»**

Специальность 03.00.16 – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва, 2009



Работа выполнена в лаборатории Почвоведения Полярно-альпийского ботанического сада-института КНЦ РАН

Научный руководитель:

Доктор биологических наук

Г.М.Кашулина

Официальные оппоненты:

Доктор биологических наук, профессор

Л.П.Капелькина

Кандидат биологических наук

О.Б.Гонтарь

Ведущая организация

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (г. Апатиты)

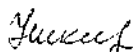
Защита диссертации состоится «03» марта 2009 года в 15 час. 30 мин. в аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.001.57 при МГУ им. М.В. Ломоносова по адресу 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, МГУ, факультет почвоведения

Автореферат разослан «30» января 2009 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета почвоведения МГУ

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по указанному адресу ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор биологических наук



А.С.Никифорова

Актуальность работы. Природная среда в настоящее время находится под сильным влиянием антропогенного воздействия. Для природы Кольского Севера антропогенное воздействие усугубляется тем, что все ее компоненты очень уязвимы. Большая доля существующего загрязнения окружающей среды в регионе обязана предприятиям цветной металлургии, в том числе медно-никелевому комбинату «Североникель», который длительное время считался одним из наиболее крупных в мире источников выбросов SO₂ и тяжелых металлов.

Длительное воздействие выбросов этого предприятия привело к серьезным нарушениям экосистем и высокой степени загрязнения основных компонентов окружающей среды (Крючков, Сыроид, 1979; Евдокимова и др., 1984; Карабань и др., 1985; Алексеев, Ярмишко, 1985; Лесные..., 1990; Лукина, Нижинов, 1996; Черненкова, 2002; Кашулина, 2002; Баккал, Горшков, 2003; Колпик и др., 2004; Reimann et al., 1998; Salminen et al., 2004 и мн.др.).

Вследствие усовершенствования технологических процессов объем выбросов загрязняющих веществ от этого предприятия в последние два десятилетия существенно сократился. Снижение объемов пылегазовых выбросов способствовало уменьшению загрязнения атмосферы и улучшению состояния растений в окрестностях медно-никелевых комбинатов этой компании (Ганичева и др., 2004; Лукина и др., 2005; Лукина, Черненкова, 2008; Кашулина, Похилько, в печати). По данным космоснимков площади сильно поврежденных экосистем вокруг медно-никелевых комбинатов на Кольском полуострове существенно снизились по сравнению с периодом наивысшего объема выбросов (Тутубалина, Шипигина, 2004; AMAP Assessment ..., 2006). Вместе с тем, концентрации тяжелых металлов в почвах локальной зоны воздействия комбината «Североникель» к настоящему времени достигли экстремально высоких уровней (Кашулина, Салтан, 2007).

Снижение уровня загрязнения атмосферы при экстремально высоких уровнях тяжелых металлов в почвах, а также существенные нарушения питательного статуса и водного режима почв создают уникальные условия для роста растений в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» в настоящее время. Изучение химического состава ассимилирующих органов растений в локальной зоне этого предприятия представляет большой интерес для понимания способности растений выживать и активно регулировать свой химический состав, несмотря на экстремальные условия. Понимание особенностей химического состава растений важно и для выработки рекомендаций по оптимизации питания растений восстанавливающихся экосистем локальной зоны.

Диссертационная работа выполнялась в рамках региональной целевой программы «Охрана и гигиена окружающей среды и обеспечение экологической безопасности в Мурманской области на 2002-2008 гг.».

Цель работы заключается в выявлении особенностей формирования химического состава ассимилирующих органов наиболее распространенных видов растений в экстремальных условиях локальной зоны воздействия комбината «Североникель» на современном этапе техногенной трансформации экосистем.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- 1) Охарактеризовать современные уровни, сезонную и фазовую структуру выпадения элементов с атмосферными осадками в локальной зоне;
- 2) Охарактеризовать современное состояние загрязнения и питательного статуса основных генетических горизонтов почв локальной зоны;
- 3) Определить современные уровни и видовые особенности содержания важных для питания растений элементов и главных загрязнителей в наиболее распространенных видах растений локальной зоны;
- 4) Выявить основные тенденции многолетней динамики уровней элементов в растениях локальной зоны;
- 5) Провести сравнительный анализ распределения содержания элементов в системе атмосферные осадки – растения;
- 6) Провести сравнительный анализ распределения содержания элементов в системе почва – растение.

Научная новизна. В настоящей работе впервые для локальной зоны воздействия медно-никелевого комбината «Североникель»:

– для исследования формирования химического состава ассимилирующих органов растений был применен комплексный ландшафтный подход с одновременным изучением атмосферных осадков, почв и растений в экосистемах, представляющих сопряженные элементарные ландшафты;

– выявлено, что, несмотря на экстремальные условия, растения локальной зоны сохранили многие видовые особенности химического состава своих ассимилирующих органов;

– показано, что в многолетней текущей динамике концентрации элементов в листьях растений не следуют за снижением выбросов, а в значительной степени обусловлены климатическими особенностями года;

– на основе сопряженного анализа распределения элементов в системах атмосферные осадки – ассимилирующие органы растений и основные горизонты почв – ассимилирующие органы растений дана оценка адекватности отражения растениями уровней элементов в атмосферных осадках и почвах.

Практическое значение. В работе охарактеризованы современные уровни содержания основных элементов питания и главных элементов-загрязнителей в атмосферных осадках, почвах и растениях локальной зоны

воздействия комбината «Североникель». Результаты и методы исследования могут быть применимы для проведения комплексного мониторинга окружающей среды с целью определения антропогенной нагрузки и реакции растений на атмосферное и почвенное загрязнение. Полученные данные также могут быть использованы для выработки рекомендаций по оптимизации питания растений самовосстанавливающихся экосистем в локальной зоне воздействия комбината «Североникель».

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на российских и международных научных конференциях: «Устойчивость экосистем и проблемы сохранения биоразнообразия на Севере» – Кировск, 2006 г.; «Почвоведение и агрохимия в XXI веке» – Санкт-Петербург, 2006 г.; «Современные проблемы загрязнения почв» – Москва, 2007 г.; «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям» – Москва, 2008 г.; «Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия в экстремальных условиях северного климата» – Кировск, 2008 г.; на заседаниях лаборатории почвоведения ПАБСИ – Апатиты, 2008 г. и кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ – Москва, 2008 г.

Публикации. Результаты исследования отражены в 10 публикациях, в том числе в 1 монографии, 1 статье в рецензируемом журнале, 1 статье в сборниках и 7 тезисах докладов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, содержит 37 таблиц и 60 рисунков. Список литературы включает 195 источников (54 иностранных). Общий объем работы – 234 с.

Благодарности. Автор выражает огромную сердечную признательность своему научному руководителю Г.М. Кашулиной за оказанное внимание, поддержку и за неоценимую помощь в работе. Автор также выражает огромную благодарность всем сотрудникам лаборатории почвоведения Полярно-альпийского ботанического сада-института: проф., д.с.-х.н. В.Н. Переверзеву за участие в работе и поддержку, м.н.с. Л.А. Басковой (участие в полевых работах, проведение зольного анализа растений); м.н.с. Н.М. Коробейниковой и Т.И. Литвиновой (участие в полевых работах, проведение почвенных анализов), лаб.-иссл. Е.В. Кошечевой (участие в полевых работах, подготовка образцов для анализа). Автор также очень благодарен к.б.н. А.А. Похилько за определение видов растений и регулярные консультации. Благодарность автор выражает работникам химико-технологической лаборатории ОАО «КГИЛЦ» за проведение химических анализов, а также всем сотрудникам центра мониторинга ОАО «КГИЛЦ». Особые слова благодарности моей семье.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Формирование химического состава растений природных и антропогенных условиях

В главе проанализированы факторы, определяющие химический состав растений, среди которых ведущее значение отведено действию генетического фактора. Определены основные источники поступления элементов в растения показана физиологическая и фитотоксичная роль элементов. В главе освещены особенности минерального состава растений, формирующегося в природных и антропогенных условиях.

В условиях интенсивно развитого горнопромышленного комплекса на Кольском полуострове и его отрицательного воздействия на окружающую природную среду изучение и оценка состояния лесных экосистем очень остра. Изучению химического состава растений в естественных условиях Кольского полуострова было посвящено достаточное количество работ (Раменская, 1974; Манаков, Никонов, 1981; Ушакова, 1995, 1997 и др.).

Работ по исследованию химического состава растений в условиях загрязнения насчитывается значительное количество, особенно в период наивысших объемов выбросов (Крючков, Сыроид, 1979; Карабань и др., 1985; Лягузова, Чертов, 1990; Лукина, Никонов, 1996, 1998; Черненкова, 2002; Кашулина, 2002; Kozlov et al., 1993 и мн. др.).

В настоящий момент при снижении объемов выбросов загрязняющих веществ комбинатом «Североникель», но при высоком уровне загрязнения почв, было актуально и целесообразно изучить современный химический состав растений и выявить факторы, ответственные за его изменения.

Глава 2. Объекты и методы исследования

Для оценки влияния комбината «Североникель» на формирование химического состава растений в локальной зоне комбината (в радиусе 20 км в течение 2001-2007 гг. были проведены комплексные экологические исследования. В качестве объектов были выбраны 5 малых водосборов (I-V) расположенных на различном удалении (4, 7,5, 8, 11, 17 км) в северном направлении от комбината. На каждом из 5 выбранных водосборов в 2001 г. были организованы 3-4 стационарные площадки для почвенно-геоботанического мониторинга, представляющие все основные типы элементарных ландшафтов и характеризующиеся различными условиями гидроморфности: автономные ландшафты с автоморфными условиями

на вершинах и верхней части холмов, трансаккумулятивные ландшафты с полугидроморфными условиями у подножий склонов холмов и аккумулятивные ландшафты с гидроморфными условиями в низинных болотах локальных депрессий.

На площадках почвенно-геоботанического мониторинга в августе 2001 г. были отобраны листья/хвоя 11 видов растений – березы (*Betula pubescens*), ивы (*Salix* spp.), сосны (*Pinus friesiana*), ели (*Picea obovata*), черники (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), вороники (*Empetrum hermaphroditum*), багульника (*Ledum palustre*), толокнянки (*Arctostaphylos uva-ursi*), пушицы (*Eriophorum* spp.) и осоки (*Carex* spp.). На отдельных площадках для наблюдения за многолетней динамикой образцы растений отбирались также в конце вегетационного периода 2002, 2005-2007 гг.

Площадки по отбору дождевых вод были оборудованы на открытом месте каждого обследуемого малого водосбора (кроме IV) и на территории метеостанции г.Мончегорска. Отбор проб дождей проводился в течение пяти лет: осенний период 2001, летне-осенние периоды 2002, 2005-2007 гг. Отробование снежного покрова было проведено в конце марта - начале апреля в 2005-2007 гг. непосредственно на площадках почвенно-геоботанического мониторинга и на территории метеостанции г. Мончегорска.

В 2001 году при проведении базового обследования в центре каждой стационарной площадки было заложено по одному полнопрофильному почвенному разрезу, пробы были отобраны из каждого генетического горизонта.

Всего было отобрано 57 снеговых проб, 88 проб дождевых осадков, 158 проб растений и 112 почвенных образцов.

Образцы растений перед анализом не отмывали. Зольный анализ растений (зольность и содержание Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, P, K, Na и S) был проведен в лаборатории почвоведения ПАБСИ по методике А.А. Поповцевой (1974). Содержание микроэлементов в растениях было определено в аккредитованной лаборатории ОАО «КГИЛЦ». Анализ проводился следующим образом: навеску 0.5 г обрабатывали 10 мл концентрированной азотной кислоты в течение 2 ч при нагревании. Полученный раствор анализировался атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Shimadzu 6800» на 10 элементов (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Pb, Sr, V, Mn, Cd). Серу определяли гравиметрическим методом. Правильность анализов контролировалась методом добавок.

В нефилтрованных пробах дождевых и снеговых вод по утвержденным Государственным комитетом РФ по охране окружающей среды методикам количественного химического анализа воды (ПНД Ф) и методикам ГОСТ были определены pH и макрокомпоненты (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl, NO_3^- , Ca^{2+} ,

Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Al^{3+}). В фильтратах и растворах, полученных от разложения твердого остатка на фильтре, определяли микрокомпоненты (Ni, Cu, Co, Cr, Pb, Zn, As, Cd, V, Mn, Sr, Ag, Mo) методом атомной абсорбционной спектроскопии (ААС).

Валовой состав почв определен во фракции < 2 мм традиционными методами после сплавления образцов с содой и бурой. Доступные для растений формы кальция, магния, калия и фосфора определяли традиционными методами в лактатной вытяжке. Валовые концентрации тяжелых металлов (Ni, Cu, Co, Zn, Pb, Cr и др.) определялись методом ААС после разложения воздушно-сухой пробы смесью плавиковой, азотной и хлорной кислот. Валовую концентрацию серы определяли гравиметрическим методом после спекания навески со смесью $KMnO_4 + Na_2CO_3$ (1:1) и растворения сплава в кислоте. Подвижные формы Ni, Cu, Co, Zn, Cd в почвах были определены с применением 1 М буферного раствора CH_3COONH_4 с pH 4.8. Количество серы определяли турбидиметрическим методом.

Камеральная обработка материалов выполнялась с использованием персональных компьютеров. Статистическая обработка параметров распределения элементов в различных природных средах выполнена средствами Microsoft Excel 2000 и Statistica 6.0.

Глава 3. Зольный состав растений локальной зоны

Результаты зольного анализа ассимилирующих органов растений показали, что различные элементы в разных видах растений неодинаково реагируют на экстремальные условия роста локальной зоны воздействия комбината «Североникель». На современном этапе техногенной трансформации экосистем в листьях растений локальной зоны было отмечено снижение концентраций всех основных элементов питания (Ca, K, Mg, Mn, P и S), а также Al по сравнению с ненарушенными экосистемами Кольского полуострова (Манатов, Никонов, 1981; Казимиров и др., 1977; Ушакова, 1995, 1997) и Карелии (Морозова, 1991). Наиболее существенно в локальной зоне снились концентрации кальция в листьях брусники, березы и хвое ели, а также марганца в листьях вороники, березы и хвое сосны (рис. 1). При этом, как следует из рисунка, содержание этих элементов в листьях/хвое большей части образцов опускается ниже минимальных значений, обнаруженных в ненарушенных экосистемах Кольского полуострова и Карелии.

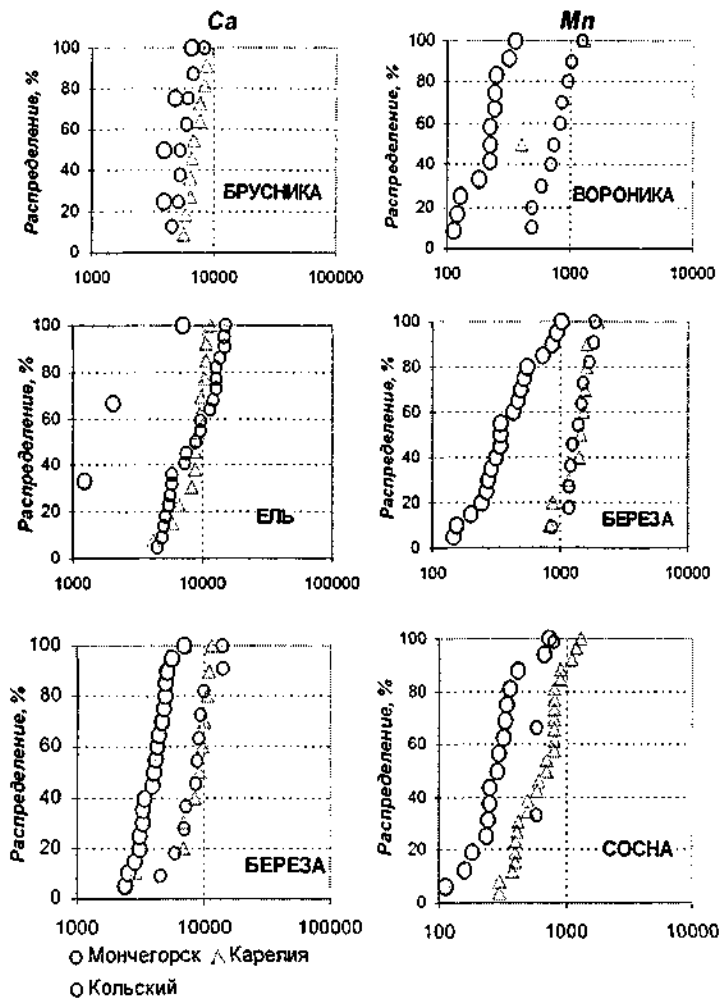


Рис. 1. Кумулятивное распределение концентраций Ca и Mn (мг/кг, а.с.н.) в ассимилирующих органах растений локальной зоны (Мончегорск) и в ненарушенных экосистемах Кольского полуострова и Карелии.

Поступления всех элементов с атмосферными осадками в локальной зоне выше, чем в фоновых условиях. В почвах здесь несколько снижены только концентрации фосфора, калия, марганца и цинка. Все остальные элементы питания находятся в почвах в достаточном или даже избыточном количестве. Это дает основание предположить, что низкие концентрации элементов питания в листьях растений не связаны с недостатком этих элементов в окружающей среде, а обусловлены снижением их потребления самими растениями.

Даже сера, несмотря на то, что это основной компонент выбросов и ее концентрации в окружающей среде существенно повышены, ведет себя как важный биогенный элемент, потребление которого большинством растений (кроме листьев ивы и хвой ели) в локальной зоне комбината «Североникель» несколько снижено (рис. 2).

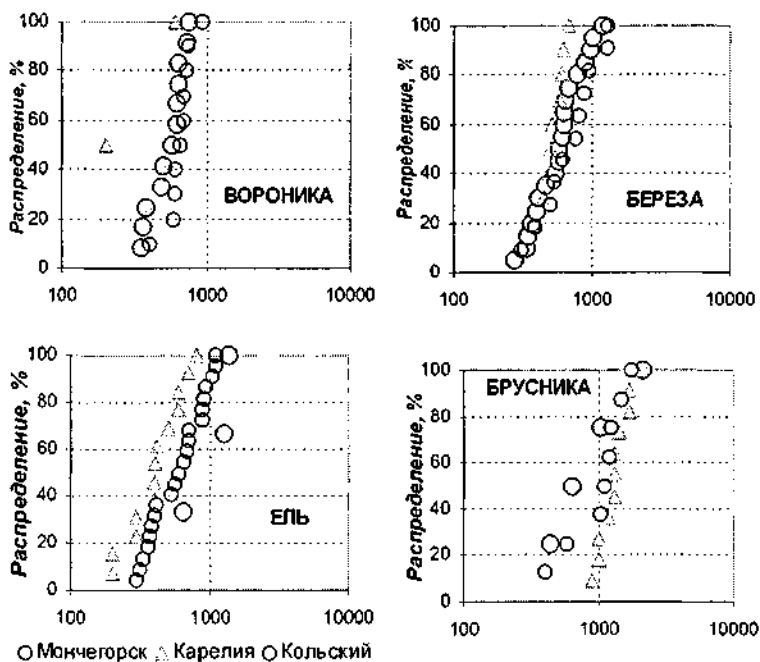


Рис. 2. Кумулятивное распределение концентраций S (мг/кг, а.с.н.) в листьях растений локальной зоны (Мончегорск) и в ненарушенных экосистемах Кольского полуострова и Карелии.

Наряду со снижением основных элементов питания практически во всех видах растений в локальной зоне встречаются аномально высокие концентрации железа и кремния.

Для нормального роста растений важны не только достаточные концентрации отдельных элементов, но и их сбалансированность. Изменения концентраций зольных элементов в локальной зоне воздействия сопровождаются изменением соотношения элементов в листьях растений по сравнению с фоновыми условиями.

Несмотря на значительное угнетение растений в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» растения сохранили многие специфические видовые особенности зольного состава своих ассимилирующих органов.

Отмеченные выше значительные изменения концентрации важных для питания растений элементов и их соотношения, однако, не являются губительными для растений: изученные растения пережили длительное воздействие высокого уровня загрязнения окружающей среды, и в настоящее время, находясь в угнетенном состоянии, продолжают свой устойчивый рост и даже плодоносят.

Для изучения многолетнего изменения химического состава у некоторых видов растений на отдельных площадках зольный анализ был проведен для образцов 2002 и 2005 гг. Эти годы существенно отличались по климатическим показателям (температура и количество осадков). Более благоприятные климатические условия 2005 г. сказались на химическом составе растений. Для большинства растений зольность и содержание зольных элементов в более благоприятный 2005 г. повышались.

Глава 4. Металлы-загрязнители в растениях локальной зоны

Распределение концентраций элементов-загрязнителей между видами растений в кумулятивных кривых (рис. 3) наглядно демонстрирует видовые особенности аккумуляции основных загрязнителей в локальной зоне. Несмотря на гораздо более высокие концентрации металлов в растениях локальной зоны по сравнению с фоновыми условиями, распределение элементов-загрязнителей по видам растений в фоновых условиях (табл. 1) и в локальной зоне (табл. 2) имеет определенное сходство.

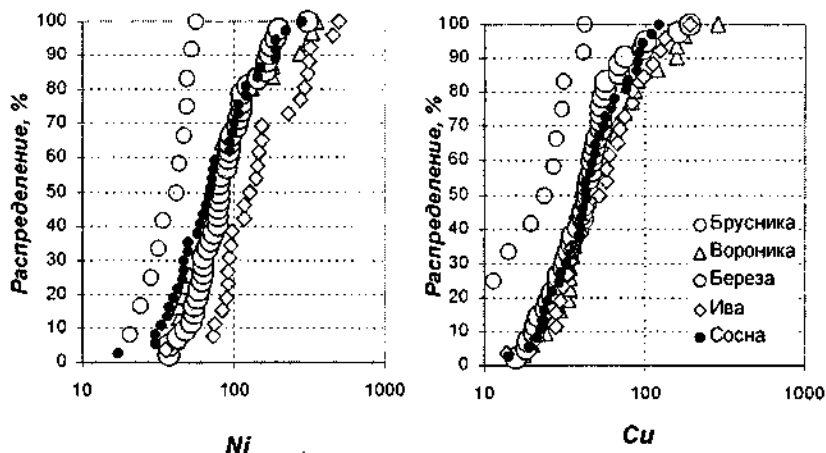


Рис. 3. Кумулятивное распределение концентраций Ni и Cu (мг/кг) в листьях/хвое растений в локальной зоне воздействия комбината «Североникель».

Таблица 1. Распределение видов растений в убывающем ряду медиан концентраций металлов-загрязнителей в их листьях/хвое в фоновых условиях (по данным Reimann et al., 2001)

Элемент	Положение растения в ряду
Ni	Ива>>Береза> Вороника> Ель>Сосна> Черника> Брусника
Cu	Ива>Черника>Береза> Вороника> Брусника > Сосна >Ель
Co	Ива>>Береза>> Сосна> Ель>Вороника>Черника> Брусника
Cd	Ива>>Береза>> Сосна> Ель>Черника> Брусника> Вороника
Zn	Береза>> Ива>> Ель>Сосна> Брусника>Черника>= Вороника

Таблица 2. Распределение видов растений в убывающем ряду медиан концентраций металлов-загрязнителей в их листьях/хвое локальной зоны

Элемент	Положение растения в ряду
Ni	Ива> Береза> Вороника >Сосна> Черника> Брусника > Ель
Cu	Ива> Береза> Сосна> Вороника >Черника> Брусника> Ель
Cd	Ива>> Береза> Сосна> Вороника> Черника> Брусника> Ель
Zn	Береза> Ива> Сосна > Ель> Брусника> Черника> Вороника

Листопадные древесные растения (ива и береза) и в фоновых условиях, и в условиях локальной зоны характеризуются самыми высокими концентрациями элементов-загрязнителей медно-никелевого производства. Наименьшие концентрации металлов-загрязнителей в локальной зоне обнаруживаются у ели, что предполагает наличие механизмов, позволяющих ей более эффективно противостоять накоплению загрязняющих элементов в своей хвое.

В условиях локальной зоны происходит смещение растений по содержанию элементов в ряду. Перемещение вида растения в начало ряда в локальной зоне (табл. 2) по сравнению с фоновыми условиями (табл. 1) означает, что этот вид растений менее успешно противостоит аккумуляции загрязняющих элементов в своих листьях/хвое. Например, сосна оказалась растением, которое в наименьшей степени способно противостоять накоплению меди и цинка в своей хвое. Вороника продемонстрировала себя наиболее угнетенным растением на современной стадии деградации экосистем, и она также наименее эффективно препятствует проникновению в свои листья металлов, особенно кадмия. На наиболее загрязненных и нарушенных площадках, где вороника является отмирающим видом, по содержанию Ni, Cu и Cd она занимает первую позицию в ряду.

Приуроченность наиболее высоких концентраций никеля, меди и кадмия в ее листьях к площадкам, где она особенно угнетена и находится на грани полного вымирания, может свидетельствовать об утрате вороникой способности активно регулировать поступление загрязняющих элементов в свои листья. При этом угнетение, возможно, является не следствием высоких концентраций металлов в ней, а, скорее наоборот, высокие концентрации металлов являются результатом отсутствия контроля за их поступлением из-за стресса, вызванного целым комплексом факторов. Главным фактором, способствующим угнетению кустарничков, особенно вороники в настоящее время, является то, что верхний органогенный горизонт почв, в котором обычно располагаются их корни, к настоящему времени практически исчез в результате эрозии почв.

Перемещение растения в конец ряда в локальной зоне (табл. 2) по сравнению с фоновыми условиями (табл. 1), наоборот, свидетельствует о лучшей способности этого вида растений избегать накопления загрязняющих элементов в своих листьях в условиях высокого уровня загрязнения. Например, ель оказалась растением, которое лучше всех противостоит накоплению Ni, Cd и Zn в своей хвое.

Для оценки степени загрязнения листьев растений локальной зоны были использованы медианы концентраций загрязняющих элементов (табл. 3). В качестве фоновых значений были использованы данные широкомасштабного международного проекта «Экогеохимия Баренц региона» (Reimann et al., 2001). При

экстремально высоком уровне загрязнения почв и все еще высоком уровне загрязнения атмосферных осадков концентрации никеля в листьях/хвое растений локальной зоны превышают фоновые в десятки раз. Степень загрязнения листьев растений локальной зоны медью значительно ниже (табл. 3).

Концентрация кадмия в локальной зоне превышает фоновые концентрации более чем в 10 раз только в кустарничках, характеризующихся очень низкими фоновыми концентрациями. Для хвои сосны все концентрации кадмия были выше фоновых значений, при этом максимальные концентрации превысили фоновые значения в 3.5 раза. Для других древесных растений содержание кадмия варьировало от слабого недостатка до двукратного превышения (табл. 3).

Таблица 3. Фоновые концентрации элементов в листьях/хвое растений (Reimann et al., 2001) и отношение медианы концентраций металлов в листьях/хвое растений локальной зоны к фону

Вид растения	Параметр	Ni	Cu	Co	Cd	Zn
Береза	Фон, мг/кг	3.9	5.7	0.36	0.25	205
	Медиана/фон	20	8		0.5	0.3
Брусника	Фон, мг/кг	0.68	4.1	0.04	0.007	26
	Медиана/фон	62	6		7.1	0.9
Вороника	Фон, мг/кг	2.59	5.2	0.05	<0.005	13
	Медиана/фон	29	8		>16	1.1
Ель	Фон, мг/кг	1.3	2.1	0.07	0.03	41
	Медиана/фон	26	7		0.6	0.6
Ива	Фон, мг/кг	8.97	7.7	1.76	0.68	125
	Медиана/фон	15	7	4.0	0.6	0.3
Сосна	Фон, мг/кг	1.13	3	0.07	0.07	39.7
	Медиана/фон	62	16		1.7	0.7
Черника	Фон, мг/кг	0.98	6.5	0.04	0.009	13.5
	Медиана/фон	50	5		7.8	1.6

В этой главе цинк рассматривается как загрязнитель, так как его поступление с атмосферными осадками в локальной зоне в 10 раз выше фоновых значений. Для этого элемента в растениях локальной зоны характерен диапазон от недостаточной обеспеченности (береза, ива, сосна, ель, брусника) до избытка (черника, вороника). Наиболее существенный недостаток цинка выявлен для березы: в ее листьях в локальной зоне содержание цинка составляет около 30% от фонового.

Для таких изучаемых растений, как толокнянка, багульник, осока и пушица не удалось найти фоновые концентрации. Наблюдения показали, что болотные травы являются достаточно благополучными видами растений в локальной зоне, несмотря на экстремально высокие уровни содержания загрязняющих элементов в почвах низинных болот. Низкие уровни концентраций металлов-загрязнителей в листьях этих видов растений в локальной зоне, по сравнению с другими обследованными видами растений, свидетельствуют о способности болотных травянистых растений достаточно успешно противостоять накоплению загрязняющих элементов в их листьях. Сравнение с единичными данными предшествующих исследований (Раменская, 1974) показывает, что концентрации никеля и меди в листьях осоки в локальной зоне приблизительно в 20 раз выше, чем в естественных условиях, тогда как концентрации этих элементов в торфяных болотных почвах в тысячи раз выше фоновых.

При изучении степени загрязнения растений никелем, медью, цинком и кадмием была выявлена зависимость между значением фоновой концентрации и степенью загрязнения. Так, чем ниже была фоновая концентрация металла в растении, тем выше была степень загрязнения растения в локальной зоне, и, наоборот, чем выше концентрация элемента-загрязнителя в фоновых условиях, тем ниже степень загрязнения им растений в локальной зоне. Также было выявлено снижение межвидовых различий между растениями локальной зоны, так как диапазон концентраций в растениях локальной зоны ниже, чем в фоновых условиях.

Для изучения многолетней динамики концентраций никеля, меди и цинка в основных видах растений локальной зоны на отдельных площадках образцы были отобраны в 2002, 2005-2007 годах. Варьирование концентраций металлов-загрязнителей в листьях/хвое растений локальной зоны за 5 лет исследования было довольно значительным: до трех и более раз по никелю и меди и до 10 раз по цинку. При этом варьирование концентраций загрязняющих элементов в листьях/хвое растений по годам не имело какого-то регулярного характера. Снижение выбросов с 2002 по 2007 год (в 1.8 раза никеля и 1.2 – меди) не отразилось должным образом на концентрациях загрязняющих элементов в растениях за этот период. Однако сравнение данных химического состава растений с климатическими и биометрическими данными показало, что в многолетней текущей динамике уровни концентраций металлов-загрязнителей в растениях в значительной степени обусловлены благоприятностью климатических условий вегетационного периода (температурой воздуха и количеством осадков) и всего года в целом.

Глава 5. Анализ распределения элементов-загрязнителей в системе атмосфера-растение

Атмосферные осадки играют очень важную роль в питательном балансе лесных северотаежных экосистем. Помимо элементов-загрязнителей, выбросы комбината «Североникель» содержат большое количество основных катионов и анионов, повышенное поступление которых может иметь удобрительный эффект. В результате пропорционального, а иногда и сравнительно более высокого повышения концентраций основных катионов в атмосферных осадках локальной зоны относительно анионов сильных минеральных кислот (SO_4^{2-} и Cl^-), их кислотность не поднимается выше фоновых значений. Таким образом, отрицательные последствия закисления не могут иметь место для растений локальной зоны.

Несмотря на существенные снижения выбросов к настоящему времени, концентрации основных элементов-загрязнителей в атмосферных осадках локальной зоны остаются достаточно высокими. По оценкам на основе медиан, концентрации никеля в растворенной части снега превышают фоновые до 2000 раз, меди - до 1500, кобальта - до 100 раз, кадмия - до 10 раз, цинка от 2 до 20 раз (в единичных образцах концентрации цинка опускаются ниже природного варьирования). В твердой части снега концентрации никеля и меди в локальной зоне превышают фоновые в тысячи раз, для цинка в 2005 г. превышения составляли несколько сотен раз, в 2006 и 2007 гг. - в десятки раз. Как показали результаты, несмотря на снижение выбросов, очевидного снижения концентраций никеля и меди, а также других элементов, присутствующих в выбросах комбината «Североникель», в зимних атмосферных осадках не происходит.

В отличие от снега, снижение выбросов элементов-загрязнителей ощутимо сказалось на их концентрации в дождевых водах. По концентрации растворенного никеля дожди локальной зоны в настоящее время превышают фоновые условия в 100-300 раз, по меди в 50-150 раз, кадмия до 8 раз и цинка не более 2-х раз.

Комплексный характер наших исследований предоставил редкую возможность непосредственно сравнить химический состав растений и атмосферных осадков. В данном случае мы ограничились сравнением концентраций металлов-загрязнителей в растениях с их общей концентрацией в снеге, отобранном в конце зимы на тех же площадках, что и растения. Показано, что различные виды растений в разные годы и для разных элементов неодинаково реагируют на увеличение поступления металлов с атмосферными осадками. Наилучшим образом уровень выпадения никеля и меди в локальной зоне отражают листья вороники (рис. 4), что является следствием угнетенного состояния самого растения.

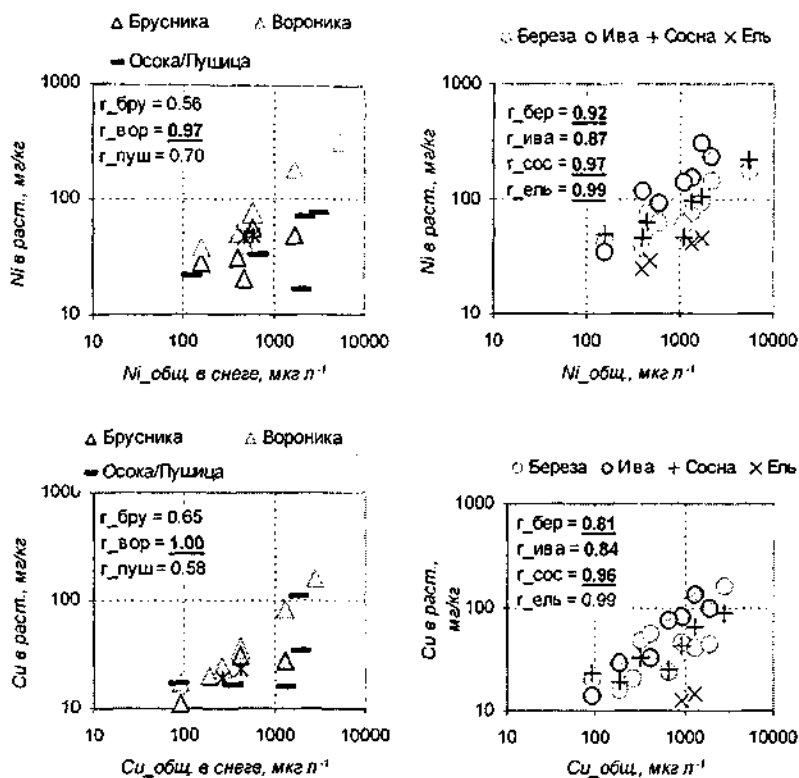


Рис. 4. Соотношение концентраций Ni и Cu в листьях/хвое растений с их общей (общ.) концентрацией в снегу на стационарных площадках в локальной зоне воздействия комбината «Североникель», 2007 г. Приведены коэффициенты корреляции (жирным шрифтом – достоверные при вероятности 95%, жирным шрифтом с подчеркиванием – при 99%).

Для древесных растений также была выявлена положительная связь между концентрациями никеля и меди в снегу и их содержанием в листьях. Достоверную положительную связь концентрации никеля и меди в растениях с поступлением этих элементов за зимний период продемонстрировали листья березы и хвоя сосны. Однако эта связь не всегда пропорциональна: при одинаковой нагрузке на площадку концентрации никеля и меди в растениях могли различаться до 5 раз, как и одинаковая концентрация никеля и меди в листьях могла наблюдаться при различных

в выпадениях на площадках до 10 и более раз. Распределение концентрации никеля и меди в листьях брусники и болотных травянистых растений не было связано с распределением их концентрацией в снеге.

На повышенные поступления цинка у растений наблюдалась совершенно другая реакция: большинство растений демонстрировали отсутствие достоверной положительной связи с выпадениями этого элемента. Распределение кадмия в растениях в локальной зоне также не зависело от уровня его выпадения. На концентрации цинка и, в меньшей степени, кадмия в растениях локальной зоны может оказывать влияние конкуренция с другими элементами (главными загрязнителями и/или макроэлементами).

Глава 6. Поведение элементов в системе почва-растение

Главным источником элементов для сосудистых растений является почва. Состав и свойства почвы могут оказывать влияние на потребление элементов растениями. Исследование кислотного статуса почв показало, что в почвах локальной зоны воздействия комбината «Североникель» все величины рН не выходят за рамки природного варьирования. Оценка питательного статуса почв локальной зоны показала, что для почв с сохраненным набором горизонтов содержание доступных форм кальция и магния находится на достаточном уровне. Загрязнение и разрушение экосистем в большей степени затронуло уровни калия и особенно фосфора в почвах. Также в дефиците находятся такие элементы, как марганец и цинк. Иногда полное разрушение верхнего органогенного горизонта на некоторых площадках (III-1 и IV-1) доводит питательный статус почв до уровня, практически, не превышающего питательных возможностей почвообразующего материала.

Загрязнение почв в регионе к настоящему времени достигло очень высокого уровня. Так, концентрации никеля и меди превышают фоновые значения в тысячи раз, кобальта в сотни раз, кадмия до 20 раз.

Сравнение распределения уровней элементов в почвах и растениях особенно важно для понимания выживания растений в экстремальных условиях локальной зоны. В работе проведен сравнительный анализ распределения концентраций элементов в растениях с концентрациями валовых и подвижных (Ni, Cu, Cd, Zn) или доступных (Ca, Mg, K) форм элементов в основных генетических горизонтах почв. Проведенный анализ показал, что по основным элементам питания связь между концентрациями элементов в растениях и почвах, в целом, отсутствует. Отдельные высокие коэффициенты корреляции часто достигаются за счет приуроченности единичных высоких значений в обеих средах к одним и тем же площадкам.

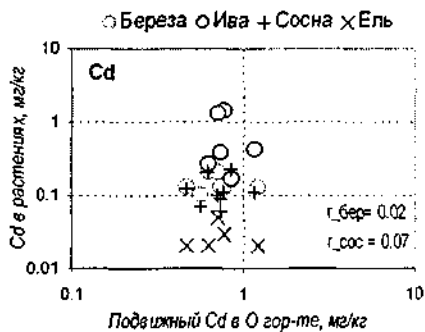
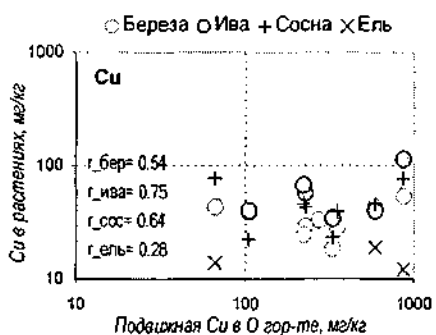
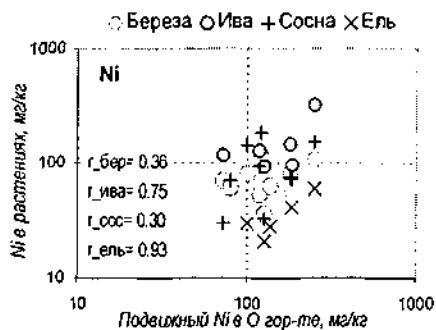


Рис. 5. Соотношение содержания подвижных форм Ni, Cu, Cd (вытяжка $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) в O-горизонте почв и в листьях/хвое основных видов растений локальной зоны воздействия комбината «Североникель». Приведены коэффициенты корреляции (жирным шрифтом – достоверные при вероятности 95%).

В отношении тяжелых металлов, таких как никель и медь, была выявлена связь между их концентрацией в почвенных горизонтах и растениях (рис. 5, на примере О-горизонта). Так, максимальные концентрации никеля и меди в растениях, как правило, приходятся на площадки, где почвы также характеризуются высокими концентрациями этих элементов, а самые низкие концентрации характерны для площадок с низкими содержаниями этих элементов в почвах. Однако различия в состоянии растений или конкуренция элементов могут существенно повлиять на потребление никеля и меди растениями. В результате чего, при одинаковых концентрациях металлов в почвах, их концентрации в растениях могут существенно различаться, и, наоборот, одинаковые концентрации металлов в растениях могут наблюдаться при различных концентрациях в почвах.

В отличие от меди и никеля распределение содержания кадмия в растениях не зависело от его распределения в основных генетических горизонтах почв, а зависело от вида растений (рис. 5). Кроме того, разные растения демонстрировали максимальные концентрации на разных площадках. При этом максимумы валового и подвижного содержания кадмия в почве пришлись не на те площадки, что максимумы для растений.

ВЫВОДЫ

1. Уменьшение выбросов загрязняющих веществ комбинатом «Североникель» привело к очевидному снижению концентраций элементов-загрязнителей в летних осадках локальной зоны, в зимних осадках этого не произошло. Концентрации элементов в атмосферных осадках локальной зоны остаются еще достаточно высокими: в сотни - тысячи (для зимних осадков) и десятки-сотни (для летних) раз превышающими фоновые для Ni, Cu и Co и до 10 и более раз для S, Zn, Mn, Cd, Ca, Mg, K.

2. Почвы локальной зоны к настоящему времени в зависимости от состояния экосистем деградированы в различной степени: с сохранением, частичной или полной утратой своих природных функций по отношению к растениям. В результате длительного кумулятивного накопления концентрации никеля и меди в почвах в сотни-тысячи раз превышают фоновые значения.

3. В экстремальных условиях локальной зоны воздействия комбината «Североникель», растения сохранили многие черты межвидовых различий химического состава своих листьев, притом, что концентрации некоторых важных для питания растений элементов (Ca, Mg, K, Mn и S) в листьях растений снижаются, а других (Fe, Si) - повышаются.

4. Концентрации главных металлов-загрязнителей Ni и Cu в листьях растений локальной зоны зависят от вида растений и превышают фоновые

от 15 (ива) до 60 (сосна, брусника) раз. Содержание серы (основной загрязнитель), цинка и кадмия (второстепенные загрязнители) также в зависимости от вида растений варьирует от существенного дефицита до превышения над фоном в несколько раз.

5. Значительные изменения химического состава листьев не являются губительными для растений. Большинство растений (береза, сосна, ель, пушица, осоки), даже в угнетенном состоянии, демонстрируют устойчивый рост. Наоборот, сильное угнетение растений сказывается на их химическом составе еще более существенным снижением важных для питания элементов (Ca, Mn) и более значительным увеличением концентраций никеля и меди.

6. В многолетней текущей динамике концентрации элементов в листьях растений не следуют за снижением выбросов, а в значительной степени обусловлены климатическими особенностями года (температура и количество осадков).

7. Сравнительный анализ распределения элементов в растениях локальной зоны, в атмосферных осадках и основных горизонтах почв показал, что только для никеля и меди существует связь между обследованными средами и растениями. Для остальных элементов такая связь отсутствует. Таким образом, растения продолжают активно регулировать химический состав своих листьев, несмотря на экстремальные условия локальной зоны.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Салтан Н.В. Химический состав атмосферных осадков локальной зоны комбината «Североникель» // Тез. докл. VIII-й Региональной научной конференции. - Апатиты, Изд-во: КФ Петр ГУ, 2005. Ч.2 С.83-84.
2. Салтан Н.В., Кашулина Г.М. Загрязнение почв катен локальной зоны воздействия медно-никелевого комбината «Североникель» // Материалы Международной конференции «Устойчивость экосистем и проблемы сохранения биоразнообразия на Севере». – Апатиты, изд-во: КМК, 2006. Ч.2. С.196-201.
3. Салтан Н.В., Кашулина Г.М., Литвинова Т.И. Органическое вещество почв катен аэротехногенно нарушенных ландшафтов северной тайги // Материалы Всероссийской научной конференции «Почвоведение и агрохимия в XXI веке». - Санкт-Петербург, изд-во Ст.-Петербургского государственного университета, 2006. С.181-182.
4. Кашулина Г.М., Салтан Н.В. Комплексный ландшафтный мониторинг почв локальной зоны воздействия медно-никелевого комбината «Североникель» // Сборник материалов II Международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв». - Москва, изд-во МГУ, 2007. Т.2., С.70-74.
5. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Салтан Н.В., Семенов Е.Н. Влияние выбросов комбината «Североникель» на химический состав атмосферных осадков //

Геоэкологические проблемы переработки природного и техногенного сырья. Сборник статей памяти профессора В. Н. Макарова. – Апатиты: Изд-во «Вектор», 2007. С.95-110.

6. Кашулина Г.М., Салтан Н.В. Комплексный ландшафтный мониторинг окружающей среды локальной зоны комбината «Североникель». 1. Методология и дизайн // Тезисы докладов I Всесоюзной конференции «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». – М.: МАКС Пресс, 2008. С.206-207.
7. Салтан Н.В., Кашулина Г.М. Комплексный ландшафтный мониторинг окружающей среды локальной зоны комбината «Североникель». 2. Химия растений // Тезисы докладов I Всесоюзной конференции «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». - М.: МАКС Пресс, 2008. С.264-265.
8. Салтан Н.В. Микроэлементный состав растений локальной зоны воздействия комбината «Североникель». // Материалы Международной конференции «Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия в экстремальных условиях северного климата». - Апатиты, изд-во: K&M, 2008. С.75-78.
9. Кашулина Г.М., Салтан Н.В. Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината «Североникель». – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2008г. – 239 с.
10. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Салтан Н.В., Семенов Е.Н. Химический состав атмосферных выпадений в зоне влияния комбината «Североникель» // Геохимия. 2008. №10. С.1131-1136.

Автореферат

Салтан Наталья Владимировна

**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ
ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА
"СЕВЕРНИКЕЛЬ"**

Технический редактор В.А.Ганичев

Лицензия ПД 00801 от 06 октября 2000 г.

Подписано к печати 22.01.2009

Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic

Уч.изд.л. 1.4. Заказ № 2. Тираж 100 экз.

Российская Академия Наук

Ордена Ленина Кольский научный центр им.С.М.Кирова
184209, Апатиты, Мурманская область, ул.Ферсмана, 14