

На правах рукописи



РОГОВА НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЯЖЕЛЫМИ
МЕТАЛЛАМИ**

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Томск 2013

Работа выполнена на кафедре “Прикладная физика” Физико-технического института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор физико–математических наук, профессор
Потылицын Александр Петрович

Официальные оппоненты: **Отмахов Владимир Ильич**

д. т. н., профессор, Химический факультет ФГБОУ
ВПО НИ ТГУ, зав. лаб. мониторинга окружающей
среды

Смирнов Геннадий Васильевич

д. т. н., профессор каф. радиоэлектронных
технологий и экологического мониторинга
Радиоконструкторского факультета ТУСУР, директор
НИИ ЭТОСС

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт мониторинга климатических
и экологических систем Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Томск

Защита состоится “28” мая 2013г. в 15:00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.269.09 при ФГБОУ ВПО «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет» по адресу:
634034, Россия, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд.215.

С диссертацией можно ознакомиться в Научно–технической библиотеке
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет».

Автореферат разослан “ ” апреля 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.269.09



Б.Б. Винокуров

Введение

Актуальность работы. Оценка загрязнения атмосферного воздуха на городских территориях является важной задачей охраны окружающей среды. В настоящее время систематический контроль осуществляется только за содержанием в воздухе пыли, сажи и некоторых газов, измерения которых производят на опорных пунктах. Однако особый интерес представляет химический состав атмосферных аэрозолей и осадков, так как некоторые химические элементы и металлы даже в малых концентрациях, но при длительном воздействии, представляют опасность в силу своей токсичности и химической активности. Используемые на практике инструментальные методы определения тяжелых металлов (ТМ) в атмосферном воздухе основаны на анализе содержания химических элементов, накопленных на воздушных фильтрах. Из-за малого периода экспозиции (несколько суток) такие методы используют только в зоне влияния мощных источников загрязнения. Однако, в современных условиях развития промышленного производства и автотранспорта несомненный интерес представляют достоверные оценки средних уровней загрязнения атмосферного воздуха ТМ на достаточно больших территориях и за продолжительные периоды времени. Более длительная экспозиция имеет место при использовании естественных планшетов, например, осадков, однако, из-за большой трудоёмкости пробоотбора и пробоподготовки, эти методы не дают возможности обследовать обширные территории.

В связи с этим для оценки и прогноза состояния окружающей среды в последние десятилетия все большее распространение получают методы, основанные на биоиндикации. При этом в качестве биоиндикаторов могут выступать растения, микроорганизмы, насекомые и животные, но использование данных тест-объектов позволяет качественно оценить состояние окружающей среды. В настоящее время для оценки загрязнения атмосферного воздуха ТМ и другими токсичными элементами активно развиваются методы, основанные на использовании мхов и лишайников. Биомониторинг загрязнений

атмосферы ТМ и другими химическими элементами при помощи мхов – один из самых популярных, простых в исполнении, перспективных и эффективных по стоимости методов контроля, обнаружения и оценки изменений качества воздуха. Метод мхов-биомониторов основан на сравнительном анализе концентраций химических элементов во мхах, отобранных в разных точках исследуемой территории. Метод позволяет определить наиболее загрязненные зоны, отслеживать динамику загрязнения атмосферного воздуха, а при известных фоновых концентрациях дает возможность количественной оценки средних уровней загрязнения без определения ПДК, что является непростой и нерешенной до конца задачей. Важной частью таких исследований является выбор наиболее подходящего вида мха, как с точки зрения территорий произрастания, так и с точки зрения аккумуляционных свойств. В европейских исследованиях используются разные виды лесных наземных мхов (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G., *Hypnum cupressiforme* (Hedw.)), местами обитания которых являются большие лесные массивы. Поэтому данные виды мхов дают возможность оценки динамики региональной загрязненности атмосферы ТМ и не пригодны для изучения локального загрязнения воздуха, например, урбанизированных территорий или вблизи точечного источника загрязнения. Кроме того, используемые виды лесных мхов отличаются своими экологическими характеристиками (например, субстратной приуроченностью), особенностями анатомо-морфологического строения, а следовательно, могут отличаться и аккумуляционными способностями. Однако какие-либо систематические данные об аккумуляционных свойствах мхов в литературе отсутствуют.

При использовании мхов для количественной оценки степени загрязнения атмосферного воздуха ТМ возникает проблема выбора фоновых территорий, связанная с возможным влиянием природно-климатических условий обитания мхов – фитоценоза, температурного режима, количества осадков, розы ветров на содержание в них химических элементов. В известных работах по

использованию мхов как индикаторов загрязнения атмосферного воздуха данные вопросы изучены слабо.

При анализе результатов исследований с помощью напочвенных мхов предполагается, что подстилаящая поверхность никак не влияет на концентрацию химических элементов во мхах, однако каких-либо исследований по данному вопросу ранее не проводилось. Не изучен также вопрос о закономерностях накопления химических элементов в разных частях мха, что является весьма важным моментом при пробоотборе и подготовке образцов к измерению.

Цели и задачи исследования.

Целью работы является разработка метода количественной оценки загрязнения атмосферного воздуха ТМ и другими химическими элементами, пригодного для изучения как регионального загрязнения атмосферы, так и для изучения состояния атмосферного воздуха урбанизированных территорий, в том числе для оценки влияния точечных источников загрязнения. Основная идея работы состоит в использовании в качестве тест-объекта эпифитного мха *Pylaisia polyantha* (Hedw.) B.S.G., произрастающего на коре деревьев (осин, тополей, берез).

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

1. Изучены аккумуляционные свойства мхов, используемых в качестве биомониторов загрязнения атмосферного воздуха, в зависимости от вида мха, минерального состава подстилаящей поверхности, природно-климатических условий обитания, величины прироста.
2. Выработаны рекомендации по выбору фоновой территории для метода мхов-биомониторов.
3. Разработана методика пробоотбора и пробоподготовки эпифитных мхов для ядерно-физических методов анализа.
4. Проведена апробация метода для оценки загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных территорий (на примере г. Томска).

5. С помощью разработанного метода проведена оценка зоны влияния точечного источника загрязнения (на примере новосибирской ТЭЦ-5).
6. Проведена апробация метода для оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами ядерных производств (на примере СХК, г. Северск, Томская область).

Фактический материал. В основу диссертационной работы положены результаты анализов 120 почвенных проб, 483 проб мха, в общей сложности около 17204 элементоопределений, что является достаточным для статистической оценки.

Методы исследований. В работе использованы методы определения содержания химических элементов в растительности, включающие нейтронно-активационный анализ и атомно-эмиссионную спектрометрию; методы математической статистики, в том числе корреляционно-регрессионный анализ; методы математического моделирования пространственного загрязнения атмосферного воздуха химическими элементами на основе диффузионно-конвективного переноса.

Научные положения, защищаемые автором:

1. Вид мха, величина прироста влияют на аккумуляционные свойства мхов.
2. Для контроля загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных территорий наиболее подходящими тест-объектами являются эпифитные мхи, произрастающие на коре деревьев.
3. Выбор фоновой территории для метода мхов-биомониторов необходимо проводить с учетом природно-климатических условий исследуемой территории.
4. Использование эпифитных мхов для биоиндикации позволяет обнаружить маркеры ядерных производств.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- использованием представительных и параллельных проб для анализа;
- применением современного аттестованного оборудования;
- соответствием полученных пространственных зависимостей научным результатам других авторов;
- получением патента.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- предложен **количественный метод контроля** состояния атмосферного воздуха с помощью эпифитного мха пилейзия многоцветковая, в том числе разработана **методика** пробоотбора и пробоподготовки эпифитного мха для ядерно-физических методов анализа и выработаны **рекомендации** по выбору фоновых территорий;

- впервые получена **оценка зоны влияния** точечного источника загрязнения атмосферного воздуха ТМ с помощью мхов-биомониторов;

- с помощью мхов-биомониторов проанализировано **состояние атмосферного воздуха г. Томска**, рассмотрена динамика за последние **5 - 6 лет**;

- впервые с помощью эпифитных мхов в атмосферном воздухе в зоне наблюдения СХК обнаружены **маркеры ядерных производств**.

Практическая значимость работы и реализация результатов работы.

1. Разработан и запатентован метод контроля загрязнения атмосферного воздуха ТМ и другими химическими элементами обширных территорий, в том числе урбанизированных, с помощью эпифитных мхов.
2. Разработанный метод позволяет определять область выпадения ТМ и других химических элементов мощного источника загрязнения, в том числе предприятий ядерно-топливного цикла.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на: V международная научно-практическая конференция, посвящённая 10-летию создания Северского биофизического научного центра ФМБА России «Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения» (Томск, 2010); VII Всероссийский симпозиум Контроль окружающей среды и климата (Томск, 2010); Первая Всероссийская молодёжная научная конференция, посвящённая 125-летию биологических исследований в Томском государственном университете «Фундаментальные и прикладные аспекты современной биологии» (Томск, 2010); XIV Международный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященный 65-летию Победы советского народа над фашистской Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2010); XVI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2010); I Всероссийская научно-практическая конференция молодых атомщиков Сибири «Ядерная энергетика: технология, безопасность, экология, экономика, управление» (Томск, 2010); XVII всероссийская научно-техническая конференция «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» (Томск, 2011); Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 50-летию ТУСУРа «Научная сессия ТУСУР-2012» (Томск, 2012); Всероссийский смотр-конкурс научно-технического творчества студентов вузов «ЭВРИКА-2012» (Новочеркасск, 2012); VIII Всероссийский симпозиум «Контроль окружающей среды и климата» (Томск, 2012); VII Международная научно-практическая конференция «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среды» (Семей, Казахстан, 2012).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 40 работ, из них 1 патент на изобретение, 8 статей в журналах, определенных ВАК, 31 тезис докладов в материалах международных и всероссийских научных конференций.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы; содержит 141 страниц, включая 18 рисунков, 20 таблицу, 127 библиографических ссылок, 11 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследований, научная новизна полученных результатов, обоснована практическая значимость, изложены защищаемые положения работы и структура диссертационной работы.

В главе 1 отражено развитие метода биоиндикации, его современное состояние, представлены обоснования использования мхов в качестве оптимальных тест-объектов, перечислены используемые методы определения химических элементов в растительности, приведены основные результаты по изучению загрязнения атмосферного воздуха ТМ и другими токсичными элементами, полученные в проведенных ранее исследованиях с помощью лесных напочвенных мхов.

Глава 2 посвящена методике исследований. Описаны методика пробоотбора и пробоподготовки мха, методы, приборы и установки, используемые для анализа мха (нейтронно-активационный анализ и атомно-эмиссионная спектрометрия), приемы статистической обработки информации.

Качество результатов определения химических элементов в образцах в значительной степени определяется соблюдением методики пробоотбора и пробоподготовки. В ходе исследований отбор образцов мха проводили обязательно только: в сухую погоду; с коры старых тополей и осин; на высоте от 1,5 до 2 метров над уровнем почвы, что соответствует слою воздуха, которым дышит взрослый человек. Далее мох очищали, промывали, что, как показано в работе, необходимо при использовании эпифитного мха, высушивали до постоянного веса, а затем подвергали процессу гомогенизации.

Для определения ТМ и других химических элементов во мхах применяли комплекс современных методов исследования вещества в аккредитованных

лабораториях Томского Политехнического Университета (ТПУ) по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения, а результаты измерений по возможности контролировались параллельными определениями элементов. Нейтронно-активационный анализ проведен в лаборатории радиационного контроля № 31 на базе реактора ИРТ-Т ТПУ, атомно-эмиссионная спектрометрия – в Научно-аналитическом центре ТПУ. Содержание 27 элементов – As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Ce, Eu, Fe, La, Lu, Na, Nd, Ni, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, Yb, Zn – определено с помощью НАА, погрешность измерений для всех элементов составляет 10-25%. Наиболее токсичные элементы - свинец, медь, кадмий и некоторые другие - определены методом атомно-эмиссионной спектрометрии (АЭС) с индуктивно-связанной плазмой. Погрешность измерений атомно-эмиссионным методом составляла: для Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, V, Zn – 20-30%, Co, K, Mo, Na, Sn, Ti – 30-40%, As, Cd, Sb, Te – 40-50%. Элементы Ba, Fe, Ca, Co, Cr, K, Mo, Na, Sb, Zn анализировали методами НАА и АЭС, результаты анализа в пределах погрешности измерений совпали, что указывает на их достоверность.

В главе 3 приведены результаты оценки аккумуляционных способностей мхов в зависимости от их вида, минерального состава подстилающей поверхности, величины прироста, а также изучено влияние природно-климатических условий произрастания мха. Проведено сравнение аккумуляционных способностей 4 видов лесных мхов (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum* Sw., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., *Hylocomium splendens*, 4 видов болотных мхов (*Aulacomnium palustre* (Brid.) Mitt., *Sphagnum angustifolium* (Russ. ex Russ.) C.Jens, *Sphagnum squarrosum*, *Sphagnum centrale* C.Jens. ex H.Arnell et C.Jens.) и 2 видов эпифитных мхов (*Pylaisia polyantha*, *Orthotrichum obtusifolium* Brid.).

Для выявления отличий в аккумуляционных способностях по отношению к разным химическим элементам лесных и болотных мхов проведен однофакторный дисперсионный анализ с помощью критерия Фишера. Анализ эпифитных мхов *Pylaisia polyantha* и *Orthotrichum obtusifolium* проведен с

помощью метода сравнения рядов распределения по дисперсиям и средним значениям концентраций. Проведенный анализ показал значимое различие аккумуляционных способностей изученных видов мхов.

С помощью метода ранжирования в каждой группе выявлены виды мхов с наибольшими и наименьшими аккумуляционными способностями. Так, например, самая высокая сумма рангов среди лесных мхов получена для *Dicranum polysetum*, а наименьшую сумму рангов имеет *Hylocomium splendens*, то есть данный вид мха обладает наименьшими аккумуляционными способностями. Среди болотных мхов наибольшими аккумуляционными способностями обладает *Aulacomnium palustre*. *Sphagnum centrale* и *Sphagnum angustifolium* имеют примерно одинаковую сумму рангов, так как относятся к одному биологическому роду.

Таким образом, при биомониторинге загрязнения атмосферы для получения достоверных оценок уровней загрязнения атмосферного воздуха следует использовать один вид мха, так как выявлены существенные отличия в аккумуляционных способностях мхов не только из разных систематических групп, но и между представителями, принадлежащими к одной систематической группе. Оптимальным индикатором загрязнения атмосферы обширных территорий, в том числе урбанизированных, является эпифитный мох *Pylaisia polyantha*, обладающий наибольшими аккумуляционными способностями и широкой распространенностью.

Сравнение результатов анализа для разных частей мха *Pylaisia polyantha* и *Pleurozium schreberi* показало, что концентрации практически всех химических элементов в верхней зелёной части мха ниже содержания этих же элементов в нижней бурой части. Это объясняется накоплением микроэлементов с возрастом и перераспределением их под действием осадков. Поэтому при отборе мхов необходимо строго соблюдать методику пробоотбора, а при пробоподготовке мха к измерениям ядерно-физическими методами анализа необходима гомогенизация образцов.

На примере широко используемого в европейских исследованиях наземного лесного мха *Pleurozium schreberi* с помощью корреляционного анализа показано отсутствие влияния минерального состава подстилающей почвы на концентрации химических элементов во мхах.

Для выявления зависимости накопления тяжелых металлов и других химических элементов во мхах от природно-климатических условий произрастания на 6 территориях юго-западной и центральной Сибири,



Рис. 1 Карта отбора образцов мха *Pylaisia polyantha*.

удаленных от промышленных центров, отобрали мох *Pylaisia polyantha* (рис. 1). В работе изучено влияние на содержание химических элементов во мхах таких наиболее важных природно-климатических факторов, как типы растительной подзоны и фитоценоза, температурный режим, количество осадков, роза ветров.

Проверка гипотезы о нормальном распределении концентраций с помощью

χ^2 – критерия подтвердилась для проб, отобранных на одной территории, что свидетельствует о

влиянии только случайных, независимых друг от друга факторов на результаты измерений. Однако концентрации во всех измеренных пробах нормальному закону не подчиняются, то есть существует влияние природных факторов изученных территорий.

Влияние территории отбора по типу растительных подзон/поясов (средняя тайга, южная тайга, горно-таёжный пояс) и фитоценоза внутри одной растительной зоны (средняя тайга) на содержание химических элементов изучено с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Для выявления

влияния климатических показателей - температурный режим, количество осадков и роза ветров - использован непараметрический метод анализа, основанный на расчете рангового коэффициента корреляции Спирмена.

Проведенное исследование выявило значимое влияние природно-климатических условий произрастания мха на содержание в них химических элементов. Поэтому при выборе фоновых территорий в соответствии с рекомендациями, выработанными для инструментальных методов, нужно соблюдать минимально допустимое расстояние до населенных пунктов (в зависимости от численности населения расстояние должно составлять не менее 50-100 км [1]), однако, отбор фоновых образцов мхов необходимо по возможности проводить в одних подзонах с примерно одинаковым фитоценозом, что и образцы мха на исследуемой территории.

В главе 4 описан метод математического моделирования переноса химического загрязнения, который использован для определения зоны влияния точечного источника загрязнения (размеры источников малы по сравнению с исследуемыми расстояниями). В качестве уравнения регрессии, описывающей полученные распределения, использовано аналитическое решение диффузионно-конвективного уравнения переноса, записанного в направлении ветра для приземной концентрации q , когда можно пренебречь диффузией в горизонтальной плоскости x, y [1]:

$$u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} . \quad (1)$$

Здесь ось x направлена по ветру u , ось z по вертикали; w – скорость гравитационного осаждения загрязняющей примеси, k_z – вертикальная составляющая коэффициента диффузии. Для точечного источника и степенной аппроксимации скорости ветра u и коэффициента вертикальной диффузии k_z [2] решение уравнения (1) имеет вид:

$$q = \theta_1 x^{\theta_2} \exp\left(-\frac{\theta_3}{x}\right) . \quad (2)$$

Значения параметров θ_1 , θ_2 , θ_3 зависят от мощности источника M , состояния атмосферы, зависимости скорости ветра u и коэффициента вертикальной диффузии k_z от высоты, дисперсности примеси, шероховатости подстилающей поверхности и могут быть рассчитаны для небольших периодов экспозиции от нескольких минут до 20-30 минут, когда характеристики источника загрязнения и атмосферы можно считать постоянными величинами. Такой подход используется при расчете предельно допустимых разовых концентраций наиболее опасных соединений, как окись азота, двуокись и оксид серы, а также сажи и пыли. Следует отметить, что даже для небольших периодов экспозиции необходимо производить корректировку результатов, связанную с эффектом осреднения концентрации [1].

Для получения достоверных оценок средних уровней загрязнения тяжелыми металлами атмосферного воздуха период экспозиции должен быть достаточно большим; для эпифитных мхов он составляет от 2-3 до 15 лет в зависимости от величины используемого для анализа прироста. В этом случае точное определение параметров θ_1 , θ_2 , θ_3 невозможно в силу сложной зависимости атмосферных процессов и выбросов источника от времени. Но если считать параметры феноменологическими, то их можно определить с помощью метода наименьших квадратов по результатам измерения концентраций химических элементов во мхах.

В главе 5 приведены результаты апробации разработанной методики контроля загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и другими химическими элементами с помощью эпифитного мха *Pylaisia polyantha*.

При определении области выпадения ТМ и других химических элементов точечного источника использована территория, прилегающая к ТЭЦ-5 г. Новосибирска. При использовании мхов-биомониторов область выпадения естественно определять как область, в которой концентрации химических элементов во мхах выше фоновых значений. В результате анализа измеренных концентраций выявлено, что содержание химических элементов во мхах,

отобранных в северо-восточном направлении, на расстояниях от 1 до 5 км ТЭЦ, в несколько раз и более превышают фоновые значения (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Максимальные и фоновые значения концентраций (ТЭЦ-5 г. Новосибирска), мкг/г.

элемент	Максимальные концентрации	Фоновые концентрации	элемент	Максимальные концентрации	Фоновые концентрации
As	3,8	0,17	Mo	1,06	0,40
Ba	325	135	Nd	8,6	0,52
Br	17	9,9	Rb	19	5,1
Ca	238000	10800	Sb	2,3	0,2
Ce	7	2,2	Sc	2,2	0,2
Co	4	1,8	Sm	1,6	0,3
Cr	14	4,5	Sr	420	45
Cs	4	0,3	Tb	0,35	0,03
Eu	2,6	0,01	Th	1,6	0,13
Fe	5200	1200	Yb	0,34	0,09
Hf	0,4	0,05	U	1,24	0,15
Lu	0,06	0,01	Zn	280	165

Математическая обработка измеренных концентраций показала, что распределение большинства химических элементов (Ba, Hf, Eu, Fe, Yb, Co, La, Lu, Rb, Sc, Sr, Sb, Th, U, Cr, Cs, Ce, Zn) в воздухе в зависимости от расстояния можно описать кривой вида (3) (рис.1), что свидетельствует об идентичности источника загрязнения атмосферы данными элементами. Необходимо отметить, что максимальные значения концентраций при высоте трубы ТЭЦ-5 равной 260 м наблюдаются на расстояниях, приблизительно равных 2-4 км, что совпадает с оценками, приведенными в литературе [3].

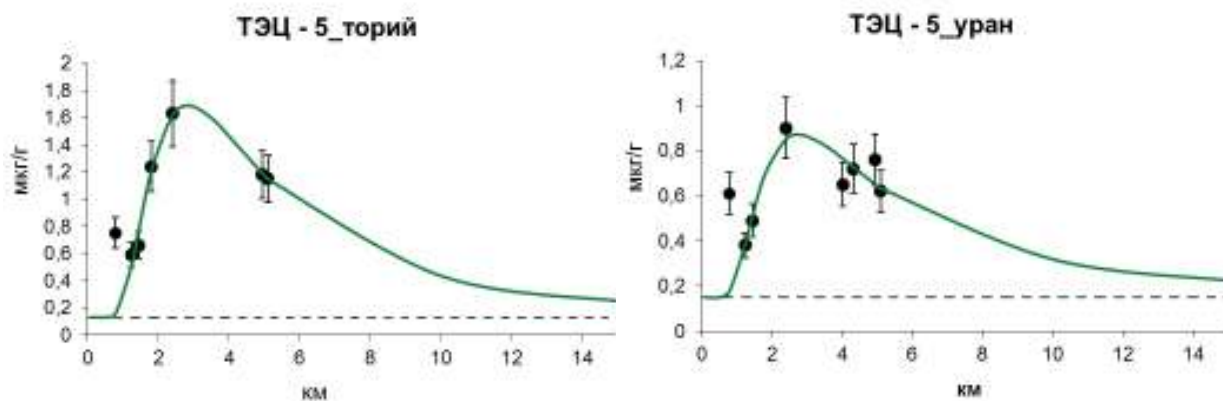


Рис.2 Распределение концентрации Th и U в зоне влияния ТЭЦ-5 (● экспериментальные данные, — модель, - - - фоновое значение)

В северо-восточном направлении, соответствующем розе ветров, область выпадения ТЭЦ-5 простирается на расстояния приблизительно от 5 (Cr, Co) до 20 (Eu, Se) км, что в несколько раз больше размеров санитарно-защитной зоны для данной установки. Распределение концентраций химических элементов вдоль других основных направлений получено путем умножения полученной функции распределения концентрации химических элементов в северо-восточном направлении на относительную вероятность соответствующего направления ветра (рис. 3).

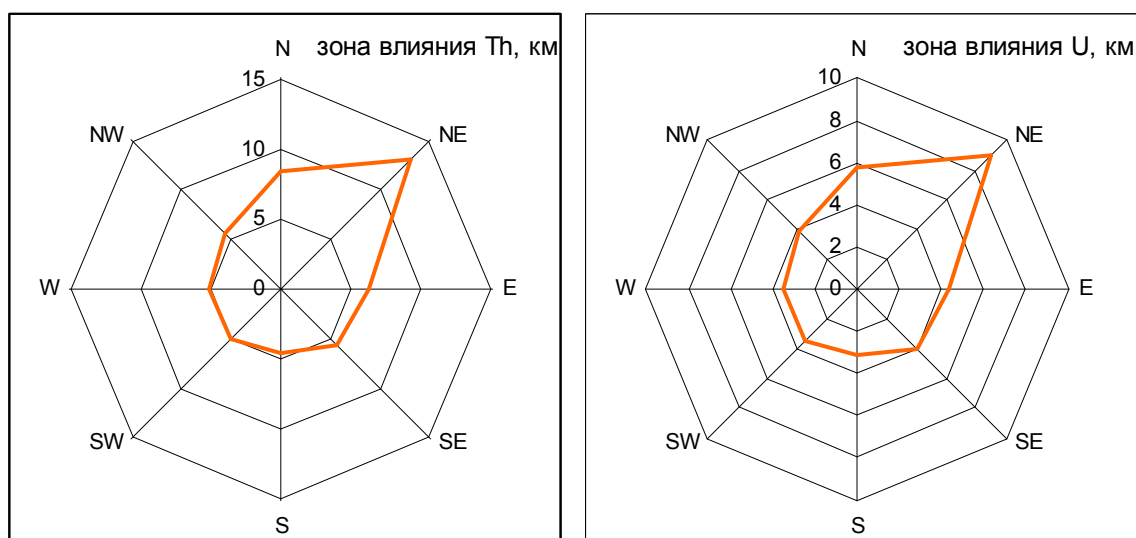


Рис. 3— Распространение Th, U в различных направлениях от ТЭЦ-5 г. Новосибирска.

Разработанный метод контроля загрязнения атмосферного воздуха с помощью эпифитных мхов позволяет оценивать даже незначительное содержание химических элементов в воздухе, что дает возможность контролировать различные ядерные производства, где системы очистки многоступенчаты, а концентрации загрязняющих веществ малы. Например, Сибирский химический комбинат (СХК) включает четыре завода по обращению с ядерными материалами: завод по разделению изотопов, сублиматный завод, радиохимический завод, химико-металлургический завод. Таким образом, в зоне действия данного комплекса следует оценивать ряд РЗМ, наличие продуктов реакции деления (Ba, Rb, Cs, Sr, Sb), а также U и Th, превышение которых над фоном можно рассматривать как маркеры соответствующих производств.

Для изучения возможности применения разработанного метода для контроля за выбросами ядерных предприятий отобраны 3 образца в 2005 г. и 10 образцов в 2011 г. на расстояниях (0,3...15) км от СХК. Из каждого образца изготовлено по 2 параллельные пробы и с помощью НАА определено содержание 27 элементов. Концентрации большинства элементов уменьшаются с расстоянием от СХК; исключением являются Ca, Ba, Sr, Br, концентрации которых сравнимы с фоновыми значениями. Содержание U, Th, Cs, Rb, Co в пробах мха, отобранных в 2005 г, в 1,5-2 раза выше, чем в пробах, отобранных в 2011 г. Уменьшение концентраций данных элементов со временем объясняется сокращением производственных мощностей СХК за 2002-2011 гг., в том числе остановкой реакторного завода в 2008г.

Систематические наблюдения за состоянием атмосферного воздуха г. Томска проводятся на 6 стационарных постах. Оценивается содержание пыли, сажи, метилового спирта, бенз(а)пирена и некоторых газов. По данным Облкомприроды состояние атмосферного воздуха г. Томска по перечисленным загрязняющим веществам в 2011 г. ухудшилось по сравнению с 2010 г.

В нашей работе с помощью эпифитного мха, отобранного в 2008-2011 гг, изучена динамика загрязнения атмосферного воздуха северной части г. Томска

тяжелыми металлами за последние 5-6 лет. Максимальные и усредненные по территории концентрации большинства химических элементов во мхах, отобранных в 2008 и 2011 гг. имеют значения, в несколько раз и более превышающие фон. Необходимо отметить, что средние концентрации Na и Fe превышают фоновые на порядок и более. Исключением являются Ba, Sr, Sb, концентрации которых сопоставимы с фоновыми значениями. Наблюдается увеличение концентраций Ca, Th, Tb, Yb, Hf, Fe, Nd, Br, Cr, La в 2 и более раза по сравнению с концентрациями, измеренными в 2008 году; концентрации Lu, U, Zn, Eu, остались на уровне 2008 года; снижение концентраций в 1,5-2 раза обнаружено у Cs, Na, Co, Ta. На основе полученных данных по содержанию химических элементов во мхах с помощью ГИС построены пространственные распределения концентраций химических элементов. По многим элементам

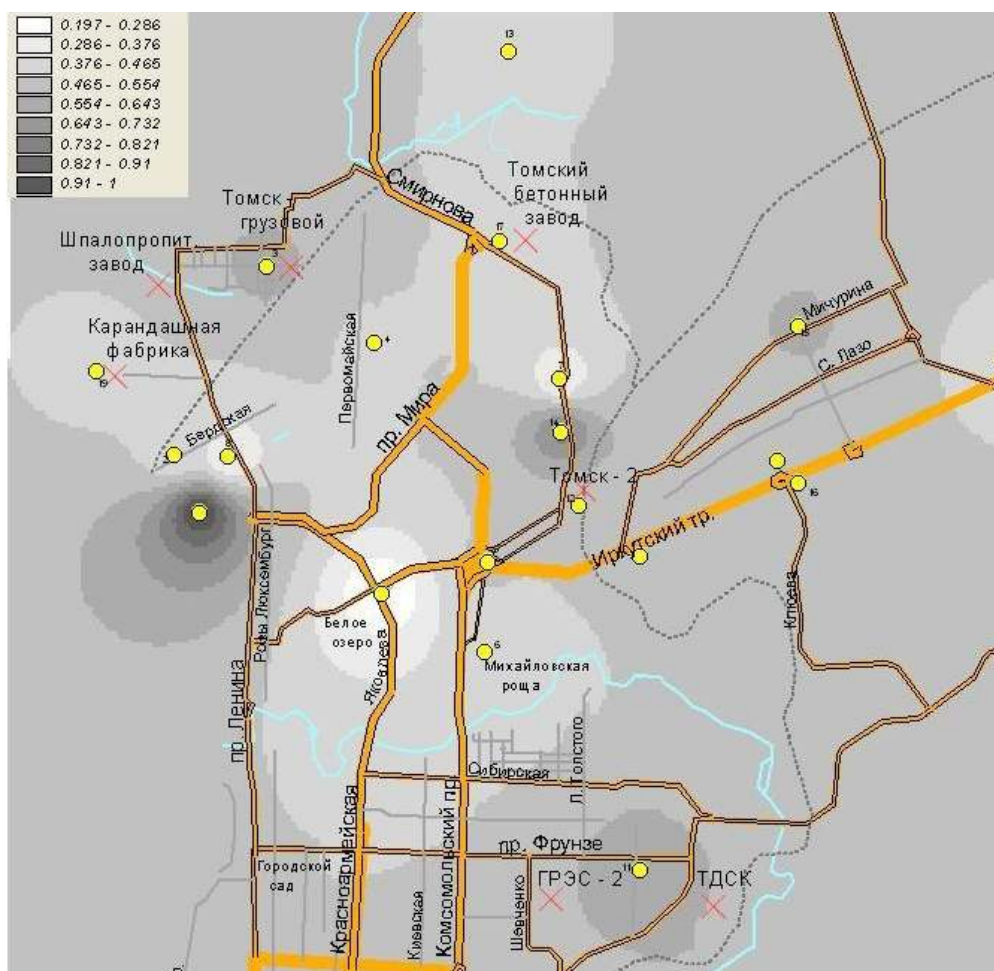


Рис. 4. Пространственное распределение концентрации Fe в 2008 г., относительные единицы $C/C_{\max}$

положение зон с максимальными значениями концентрации не изменилось в 2011 году по сравнению с 2008 годом. Эти зоны расположены около железнодорожной станции ТОМСК-2, на территории вблизи ГРЭС-2 и производственных площадей ТДСК, а также в районе Иркутского тракта (рис. 4, 5). По результатам исследования 2011 г. выявлены новые зоны с повышенной концентрацией элементов: район бетонного завода, который после продолжительной реконструкции заработал около 4 лет назад (рис. 5), а также пересечение улиц Сибирской и Комсомольского проспекта, что объясняется увеличением потока автотранспорта за последние 2-3 года после реконструкции этих автомагистралей, а также проведением строительных работ в этом районе в исследуемый период времени.

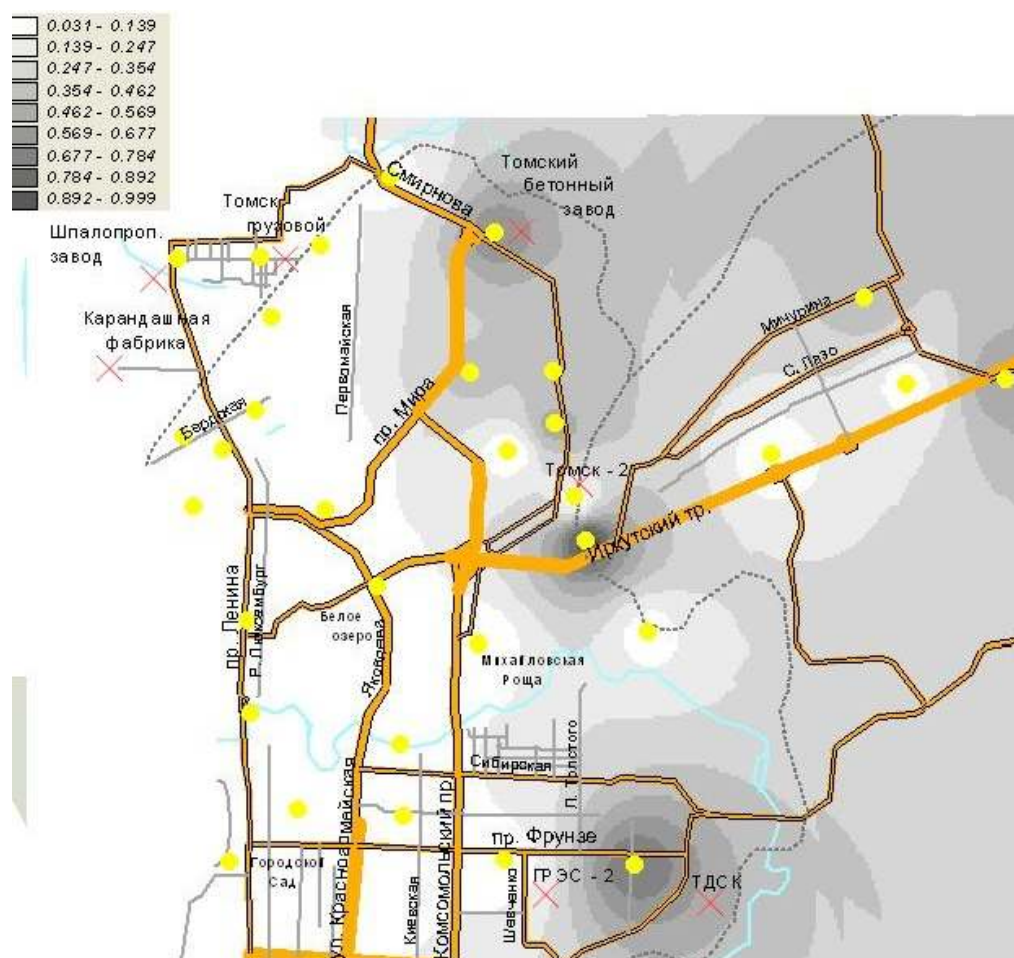


Рис. 5. Пространственное распределение концентрации Fe в 2011 г., относительные единицы C/C_{max}

В заключении излагаются основные результаты диссертации.

Основные выводы:

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- При изучении загрязнения воздуха тяжелыми металлами и другими токсичными элементами урбанизированных территорий к числу оптимальных тест-объектов можно отнести широко распространённые в природе и произрастающие на коре деревьев эпифитные мхи, обладающие высокими аккумуляционными свойствами.
- При контроле загрязнения атмосферного воздуха с помощью эпифитных мхов необходимо промывание образцов и их гомогенизация, что обеспечивает хорошую сходимость параллельных измерений.
- При оценке состояния атмосферного воздуха с помощью метода мхов-биомониторов фоновая территория при минимально допустимом расстоянии от источника загрязнения (не менее 100 км для территорий с населением 200-400 тыс. человек) должна находиться в одной подзоне с исследуемой территорией, а образцы должны отбираться по возможности при одном и том же типе фитоценоза. Однако, при проведении исследований обширных территорий в качестве фоновых значений возможно использование усредненных по различным фоновым территориям концентраций, рассматривая эти значения как глобальный фон.
- Размеры области выпадения ТЭЦ-5, определённые с помощью разработанного метода биомониторинга, в несколько раз больше установленной СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 санитарно-защитной зоны для данной установки.
- Биомониторинг с помощью эпифитных мхов позволяет выявить химические элементы, которые являются маркерами ядерных производств. Изучение загрязнения атмосферного воздуха в зоне наблюдения СХК показало, что по продуктам ядерных производств

наблюдается уменьшение концентраций со временем, а также уменьшение концентраций с расстоянием по большинству элементов.

- Метод мхов-биоиндикаторов с использованием эпифитных мхов позволил выявить наиболее загрязненные районы на территории г. Томска. Изучение динамики загрязнения атмосферного воздуха г. Томска показывает рост концентраций тяжелых металлов за последние 3 года, что объясняется увеличением потока автотранспорта и введением в работу новых промышленных мощностей.

Список основных публикаций по теме диссертации:

1. Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов В.Г., **Рогова Н.С.** Контроль состояния атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов //Оптика атмосферы и океана. – 2009. – т.22. – №1. - С. 101-104.
2. **Рогова Н.С.**, Меркулов В.Г., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л. Нейтронно-активационное определение антропогенных элементов во мхах-биоиндикаторах //Известия вузов. Физика. – 2010. – т.53. – №10/2. - С. 324-328.
3. Рыжакова Н. К. , Бабешина Л.Г., **Рогова Н. С.**, Меркулов В. Г. Результаты определения элементного состава сфагновых мхов ядерно-физическими методами// Известия вузов. Физика. - 2010 - т. 53 - №. 11/2 - С. 70-73.
4. **Рогова Н. С.**, Рыжакова Н. К., Борисенко А. Л., Меркулов В. Г. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнения атмосферы // Оптика атмосферы и океана. - 2011 - Т. 24 - №. 1 - С. 79-83.
5. **Рогова Н. С.**, Рыжакова Н. К., Меркулов В. Г., Борисенко А. Л. Изучение содержания химических элементов в лесных напочвенных мхах и подстилающих почвах // Известия вузов. Физика. - 2011 - Т. 54 - №. 11/2 - С. 350-355.
6. Рыжакова Н. К., Бабешина Л.Г., **Рогова Н. С.**, Зверев А.А., Меркулов В. Г. Корреляционная зависимость между содержанием химических элементов в сфагновых мхах и их экологическими оптимумами по трофности и увлажнению //Вестник ТГУ. Биология. - 2011 - №. 2 (14) - С. 122-131.
7. Рыжакова Н.К., Рапута В.Ф., **Рогова Н.С.**, Борисенко А.Л., Покровская Е.А. Пространственное распределение химических элементов атмосферных выбросов угольной ТЭЦ // Экология и промышленность России. - 2013 - №. 1. - С. 52-55.
8. Рыжакова Н.К., **Рогова Н.С.**, Борисенко А.Л., Меркулов В.Г. Способ оценки загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и

другими химическими элементами с помощью эпифитных мхов. Патент на изобретение № 2463584. Бюл. №28.

Список литературы:

1. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 448 с.
2. Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
3. Бызова Н. Л. Рассеивание примесей в пограничном слое атмосферы – М. : Гидрометеиздат, 1974. – 190 с.