

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт естественных и точных наук
Факультет «Химический»
Кафедра «Экология и химическая технология»

**РАБОТА ПРОВЕРЕНА**
Рецензент, генеральный директор
ООО ПИТ «УралМетХолдинг»
С. А. Зотеев
2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, д.х.н.,
профессор
В. В. Авдин
2017 г.

Лишайники как биоиндикаторы загрязнения городской среды тяжелыми
металлами

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–05.04.06.2017.757.ПЗ ВНИР**

Руководитель проекта, к.х.н.,
доцент
Т. Г. Крупнова
2017 г.

Автор проекта
студент группы ЕТ-242
Н.А. Крючкова
2017 г.

Нормоконтролер, с.н.с., к.т.н.,
доцент
В.Р. Гофман
2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт естественных и точных наук
Кафедра «Экология и химическая технология»
Направление «05.04.06 – Экология и природопользование»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, д.х.н.,
профессор

 В. В. Авдин
16 июля 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента
Крючковой Натальи Александровны
Группа ЕТ–242

1 Тема ВКР

Лишайники как биоиндикаторы загрязнения городской среды тяжелыми металлами

утверждена приказом по университету от 23 апреля 2017 г. № 835
(утверждена распоряжением по факультету от 23 апреля 2017 г. № 835)

2 Срок сдачи студентом законченной ВКР 17 июня 2017 г.

3 Исходные данные к ВКР

Образцы талломов лишайников, результаты рентгенофлуоресцентного анализа

4 Содержание ВКР (перечень подлежащих разработке вопросов):

1. Литературный обзор о влиянии загрязнения воздуха на лишайники

2. Методика проведения рентгенофлуоресцентного анализа (РФА)

3. Определение индикаторного вида

4. Элементный состав лишайников

5. Сопоставление результатов РФА с загрязнением воздуха

6. Нахождение зависимости между содержанием элементов тяжелых металлов в талломах лишайников и загрязнением атмосферного воздуха

5. Иллюстративный материал (плакаты, альбомы, раздаточный материал, макеты, электронные носители и др.)

Презентация выпускного квалификационного проекта содержит 12 слайдов, выполненных в программе PowerPoint 2010.

Всего 51 лист

6. Дата выдачи задания 5.09.2015г.

Руководитель Крупнова

Задание принял к исполнению Крупнова

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование разделов ВКР	Срок выполнения раздела ВКР	Отметка о выполнении руководителя
Пробоотбор образцов	20.09.2015 г.	Крупнова
Подготовка образцов для РФА	12.02.2016 г.	Крупнова
Поиск литературы	17.06.2016 г.	Крупнова
Обработка результатов	23.11.2016 г.	Крупнова
Оформление результатов	26.05.2017 г.	Крупнова

Заведующий кафедрой Авдин /В.В. Авдин/

Руководитель работы (проекта) Крупнова /Т.Г.Крупнова/

Студент Крючкова /Н.А. Крючкова/

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	6
1.1 Загрязнение воздуха городской среды тяжелыми металлами.....	6
1.2 Биоиндикация.....	11
1.3 Использование лишайников как биоиндикаторов	13
1.3.1 Характеристика лишайников	16
1.3.2 Мировой опыт использования лишайников в качестве биоиндикаторов	17
1.3.3 Использование лишайников в качестве биоиндикаторов на Урале и сопредельных территориях	25
1.4 Постановка цели и задач работы	27
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	28
2.1 Пробоотбор	28
2.2 Рентгенофлуоресцентный анализ	30
2.3 Обработка данных	31
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.....	32
3.1 Определение индикаторного вида	32
3.2 Элементный состав лишайников	33
3.3 Связь между содержанием металлов в лишайниках и загрязнением атмосферного воздуха.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	41
ПРИЛОЖЕНИЯ	44
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	44

ВВЕДЕНИЕ

Лишайники широко используются в биоиндикации состояния атмосферного воздуха. Это один из перспективных и наиболее развитых способов экологического мониторинга, который позволяет надежно и экономично оценивать воздействие промышленности на окружающую среду (включая городские экосистемы). Есть несколько преимуществ использования лишайников в качестве биоиндикаторов. Во-первых, эти объекты позволяют прогнозировать уровень загрязнения во времени, оценивать динамику качества воздуха. Во-вторых, существует множество показателей для оценки окружающей среды на основе популяции лишайника. Из-за отсутствия корневой системы лишайники имеют атмосферное питание, и их элементный состав отражает интегральный состав химических элементов в воздухе в газообразных, растворенных или дисперсных формах.

Актуальность настоящего исследования заключается в том, в настоящее время биоиндикация атмосферного воздуха является одной из инновационных технологий наряду с химическим анализом.

Целью данной работы является изучение возможности использования эпифитных лишайников как биоиндикаторов загрязнения городской среды тяжелыми металлами. В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи:

- 1) выбрать индикаторный вид эпифитных лишайников;
- 2) изучить содержание тяжелых металлов в лишайниках;
- 3) определить имеется ли связь между содержанием металлов в составе лишайников и загрязнения атмосферного воздуха.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Загрязнение воздуха городской среды тяжелыми металлами

Право человека на благоприятную окружающую среду закреплено в 42 статье Конституции Российской Федерации. Однако на сегодняшний день в России, по данным НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН, только 15 % горожан проживают на территориях с допустимым уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Поэтому экологическая оценка качества состояния окружающей среды и воздействия ее факторов, в частности воздуха, продолжает оставаться одной из актуальных проблем экологии городов [1].

Как известно атмосферный воздух является наиболее важным компонентом в среде обитания человека. Высокая концентрация вредных загрязняющих веществ в атмосфере городов и промышленно развитых центрах вносит отрицательный вклад в здоровье населения, жилым зданиям и техническим сооружениям, историческим памятникам; увеличивает количество различных заболеваний. Негативное изменение атмосферы связано прежде всего с изменением концентрации второстепенных компонентов атмосферного воздуха. К основным антропогенным источникам загрязнения атмосферы относятся различные машиностроительные предприятия, транспорт, предприятия топливно-энергетического комплекса. Помимо газообразных загрязняющих веществ, в атмосферу поступает большое количество твердых частиц [2].

В последние годы значительно возросло понимание роли влияния воздушной среды, как важнейшего фактора, определяющего здоровье городского населения, активно реагирующего на системное воздействие неблагоприятных природно-климатических условий и техногенного загрязнения атмосферы. Отечественные исследования по оценке влияния средовых факторов на здоровье населения установили тесную зависимость формирования неинфекционных заболеваний (70%) с качеством атмосферного воздуха, загрязненного различными химическими соединениями, главным источником которых в Российской Федерации является автотранспорт.

Качество воздушной среды во многом определяется метеорологическими параметрами, которые формируют условия рассеивания и накопления загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Мониторинг за качеством атмосферного воздуха является одной из важных проблем политики государства в области санитарно-гигиенического контроля. Полноценный мониторинг (с длинными рядами наблюдений) связан с техническими и экономическими проблемами, поэтому поиск эффективных методов интерполяции, позволяющих сформировать трендовую направленность характера и степени загрязнения воздушной среды города, в настоящее время является актуальным [3].

Наибольшую опасность природной среде несёт загрязнение тяжелыми металлами. Никель, кадмий, свинец, медь, ртуть, цинк, хром являются почти постоянными компонентами воздуха промышленных центров. Особенно остро стоит проблема загрязнения воздуха свинцом. Тяжелые металлы поступают в

атмосферу городов как от антропогенных источников, так и от естественных. Транспорт является одним из основных источников поступления в окружающую среду кадмия, цинка и свинца, а при работе на дизельном топливе еще и никеля. Вследствие коррозии, истирания частей работающих механизмов железнодорожных рельсов и колес вагонов в воздухе рассеивается огромное количество металлов.

При переходе из одной природной среды в другую тяжелые металлы могут изменять свою химическую форму, не подвергаясь биохимическому разложению. Растения имеют способность накапливать катионы тяжёлых металлов, которые поглощают из воздуха и атмосферных осадков. Токсическое воздействие некоторых тяжелых металлов отражается в виде канцерогенного, мутагенного, тератогенного и других эффектов. Тяжелые металлы катализируют окислительно-восстановительные процессы, гидратацию, дегидратацию, циклизацию и изомеризацию, метилирование и деметилирование, возникновение двойных и тройных связей и различные другие химические реакции, протекающие в живых организмах. Поэтому присутствие в экосистеме порой даже одного несвойственного ей металла может иметь следствием непредсказуемый ход биологических и экологических процессов.

Большая часть тяжелых металлов поглощается и накапливается в почвах, для которых она является естественной средой. Другие мигрируют с поверхностными и подземными водами. Растения играют важную барьерную роль на пути миграции тяжёлых металлов, помимо почвенного покрова. Химический состав растений, как известно, отражает элементный состав почв. Поэтому избыток накопленных тяжелых металлов растениями обусловлен, прежде всего, их высокими концентрациями в почвах. Особую тревогу вызывает накопление тяжелых металлов в почвах и растениях городских экосистем прежде всего из-за высокой плотности населения и значительной концентрации на их территориях промышленных объектов, производственная деятельность которых сопряжена с выбросами в окружающую среду большого объема различных химических элементов [4].

Вдыхание пыли, содержащей соли цинка, может привести к раздражению оболочек верхних дыхательных путей, никеля – к дистрофическим изменениям в паренхиматозных органах, нарушению обмена веществ. ТЭЦ и котельные загрязняют атмосферу свинцом, железом, цинком и марганцем. Большое количество марганца способствует развитию хронических очагов инфекции верхних дыхательных путей. При хроническом отравлении свинцом у человека поражается желудочно-кишечный тракт, почечная система, снижается иммунитет. Попадая в организм человека, тяжелые металлы способны накапливаться в нем, вызывая различные нарушения в органах [2,5].

Город Челябинск является важнейшим промышленным центром Российской Федерации с высокой насыщенностью предприятий черной и цветной металлургии, топливно-энергетического комплекса, машиностроения и химической промышленности, транспорта. Перечисленные объекты являются источником загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, которые

приводят к деградации среды обитания человека и оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье населения, проявляющееся появлением экологически обусловленной патологии [1].

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в городе Челябинске остаются предприятия металлургического производства и производства готовых металлических изделий. В таблице 1 представлены предприятия – ведущие источники загрязнения и их загрязняющие вещества, дающие наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха.

Таблица 1 – Основные источники загрязнения и загрязняющие вещества г. Челябинска [6]

Основные источники загрязнения	Загрязняющие вещества
Предприятия группы «Мечел»	Взвешенные вещества, азота диоксид, бенз(а)пирен, фенол, нафталин, сероводород, азота диоксид
ОАО «Электрометаллургический комбинат»	Азота диоксид, взвешенные вещества, бенз(а)пирен, свинец, хром б+, марганец, мышьяк
ОАО «Трубопрокатный завод»	Марганец, азота диоксид, свинец, оксид углерода, взвешенные вещества, фенол
ОАО «Цинковый завод»	Азота диоксид, аммиак, взвешенные вещества, оксид кадмия, марганец, мышьяк, ртуть, свинец, диВанадийпентоксид, серы диоксид, фтористые газообразные соединения, цинка сульфат, цинка оксид, углерода оксид, метилбензол
Предприятия производства и распределения электроэнергии, газа и воды (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ЧГРЭС)	Азота диоксид, азота оксид, пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния 70- 20% (шамот, цемент, пыль цементного производства – глина, глинистый сланец, доменный шлак, песок, клинкер, зола, кремнезем и др.), углерода оксид, серы диоксид

Общее количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу г. Челябинска, составляет более 200 компонентов. Их качественный состав определяется промышленной специализацией города. Загрязнение городской среды свинцом происходит главным образом за счет выбросов автомобильного транспорта (этилированный бензин) – 60,0 %, предприятий цветной металлургии – 22,0 %, производства железа, стали, ферросплавов – 11,0 % и др.

Основным источником поступления цинка в окружающую среду являются выбросы цинковых плавильных предприятий (60,0 %), при производстве железа, стали, сплавов (13,0 %), в результате сжигания отходов (17,0 %) и древесины.

Основными источниками поступления меди являются: сжигание топлива (22,0 %), производство железа, стали, ферросплавов (11,0 %) и др.

Основными источниками поступления марганца в г. Челябинске являются предприятия металлургии. Эксплуатация промышленных предприятий и современных тепловых электростанций сопровождается образованием пылегазовых выбросов, содержащих более 40 токсичных соединений, включая и мышьяк, ртуть, кадмий и др.

В таблице 2 представлен класс опасности тяжелых металлов, выбрасываемых в городскую среду г. Челябинска.

Таблица 2 – Класс опасности тяжелых металлов

Класс опасности	Химическое вещество
1	Мышьяк, ртуть, свинец, кадмий, цинк
2	Медь, никель
3	Марганец

В Челябинской области исследования атмосферного воздуха в населенных пунктах были проведены для следующих веществ: взвешенные вещества, серы диоксид, сероводород, углерода оксид, азота диоксид, азота оксид, аммиак, фенол, формальдегид, серная кислота, бензапирен, фтористый водород, ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилол, стирол), алифатические и алифатические ненасыщенные ограничить тяжелые металлы (свинец, кадмий, мышьяк, марганец, железо, медь, хром, цинк, магний, никель) и сажа.

В 2015 году продолжилось снижение объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников. В отчетном году организации, работающие на территории Челябинской области, выбросили в атмосферу 626,889 тыс. тонн загрязняющих веществ, что составило 16,6% от общего количества загрязняющих веществ от всех стационарных источников выделения, и 96,0 % по сравнению с прошлым годом. К очистным сооружениям поступило 3252,8 тыс. тонн загрязняющих веществ (86,4% от общего количества загрязняющих веществ от всех стационарных источников загрязнения), было уловлено и обезврежено 3136,355 тыс. тонн (96,4 % поступающей на очистные сооружения).

В таблице 3 представлены загрязняющие вещества и количество их выбросов в атмосферу за 2015 год.

Таблица 3 – Количество наиболее распространенных загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников

Загрязняющие вещества	2015
Всего, в том числе:	3 763,244
твердые вещества	3 138,207
газообразные и жидкие вещества	625,037
из них:	235,662
диоксид серы	
оксиды азота (в пересчете на NO ₂)	67,684
оксид углерода	287,949
углеводороды (без летучих органических соединений)	20,722
летучие органические соединения (ЛОС)	8,233

По видам экономической деятельности, наносящим наибольший вред окружающей среде, выделяются обрабатывающие производства. Выбросы загрязняющих атмосферный воздух веществ в этих организациях в 2015 году составили 2 229,2 млн. тонн (59,2% от выбросов по всем видам экономической деятельности). В организациях, которые осуществляют производство и распределение электроэнергии, газа и воды, выбросы в атмосферу составили 1443,572 тыс. тонн (38,6% от выбросов по всем видам экономической деятельности). Доля хозяйствующих объектов с другими видами экономической деятельности, действующих на территории Челябинской области, имеет 4,828 тыс. тонн загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу (0,13 %; рис. 1).



Рисунок 1 – Вклад основных видов деятельности в выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух [7]

1.2 Биоиндикация

В настоящее время считается общепринятым, что основным индикатором устойчивого развития в конечном итоге является качество среды. Показатели качества природной среды являются широкий набор экологических показателей. На сегодняшний день существует большое количество методов индикации антропогенной трансформации природной среды, но некоторые из них не могут выявить нарушения в экосистеме на ранних стадиях изменения ее экологического состояния. Особенно важной является информация о влиянии концентрации химических элементов в экосистемах на биологические объекты [8].

Биоиндикация является основным методом биологического мониторинга. В качестве объектов для биоиндикации используются разнообразные организмы – бактерии, водоросли, высшие растения, беспозвоночные животные, млекопитающие. Для гарантированного выявления присутствия в природных средах токсического вещества с неизвестным химическим составом, как правило, используют набор объектов, которые представляют различные группы сообщества [9].

Биоиндикация – это процесс обнаружения и определения экологически значимых природных и антропогенных нагрузок на основе реакций живых организмов в их естественной среде обитания. Биологические индикаторы имеют свойства характеристик системы или процесса, посредством которого осуществляется качественная или количественная оценка тенденций,

определению или оценке статуса классификация экологических систем, процессов и явлений [8].

С помощью биоиндикации проводится оценка качества среды обитания и индивидуальных особенностей биоты в естественных условиях. Учет изменяющейся среды, вызванный действием антропогенных факторов, осуществляется путем составления скомпилированных списков индикаторных организмов - биоиндикаторов. Биоиндикаторы - виды, группы видов или сообщества по наличию, степени развития и изменению морфологических, структурно-функциональных, генетических характеристик оцениваются по качеству воды и экосистем. В качестве биоиндикаторов часто выступают лишайники, в водных объектах – сообщества бактерио-, фито-, зоопланктона, зообентоса, перифитона. Ряд индикаторов, специфичных для растений, реагирует на увеличение или уменьшение концентрации микро- или макроэлементов.

Любая экосистема, находясь в равновесии с факторами окружающей среды, имеет сложную систему подвижных биологических связей, которые, как правило, не меняются, не оцениваются, трудно интерпретировать. С точки зрения охраны природы, более важно ответить на вопрос, какие последствия вызовет та или иная концентрация загрязняющего вещества в окружающей среде. Эту задачу и решает биоиндикация, позволяя оценить биологические последствия антропогенного изменения среды. Физико-химические методы обеспечивают качественные и количественные характеристики фактора, но лишь косвенно оценивают его биологическое действие. Биоиндикация, напротив, позволяет получать информацию о биологических последствиях изменений окружающей среды и делать лишь косвенные выводы об особенностях фактора. Таким образом, при оценке состояния окружающей среды целесообразно комбинировать физические и химические методы с биологическими [10].

Биологические методы позволяют получать информацию о непосредственной реакции организмов, сообществ или экосистем на естественные или антропогенные изменения, так как биота реагирует на небольшие изменения во внешних условиях. Использование биологических методов для оценки окружающей среды предполагает распределение видов животных или растений, которые реагируют на определенный тип воздействия.

С помощью биоиндикаторов можно обнаруживать места скоплений в экологических системах различных видов загрязнения; можно отслеживать скорость происходящих изменений в окружающей среде. Только по биоиндикаторам можно судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы.

Живые биоиндикаторы имеют ряд преимуществ перед химическими методами оценки состояния окружающей среды, широко используемыми в настоящее время:

1) они суммируют все без исключения биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом;

2) В условиях хронического антропогенного стресса биологические индикаторы могут реагировать на очень слабые эффекты из-за накопления дозы;

3) исключают необходимость проверки физических и химических параметров среды;

4) сделать необязательным использование дорогостоящих и трудоемких физических и химических методов для измерения биологических параметров; живые организмы постоянно присутствуют в среде человека и реагируют на кратковременные выбросы ядовитых веществ и залповые выбросы, которые не могут регистрироваться с помощью системы автоматического контроля с периодическим отбором проб для анализа;

5) фиксируют скорость происходящих в окружающей среде изменений;

б) указывают направления и местоположения кластеров различных видов загрязнения в экологических системах и возможные пути проникновения этих веществ в пищу человека;

7) позволяют судить о степени вредности синтетических веществ для человека и природы и позволяют контролировать действие этих веществ;

8) помогают распределять допустимую нагрузку на экосистемы, которые отличаются по своей устойчивости к антропогенному воздействию, поскольку один и тот же состав и количество примесей могут приводить к различным реакциям в природных системах в разных географических зонах.

Существует несколько различных форм биологической идентификации. Если две одинаковые реакции инициируются различными антропогенными факторами, это будет неспецифическая биоиндикация. Если определенные изменения могут быть связаны с влиянием какого-либо одного фактора, биоиндикация этого типа называется специфической. Биоиндикаторы при реакции на внешнее воздействие также могут быть отнесены к нескольким типам. Во-первых, количество видов значительно изменяет популяцию в условиях нарушения. Это будут количественные биоиндикаторы. Наряду с ними имеются качественные биоиндикаторы, наличие или отсутствие которых также можно охарактеризовать биоценозом [11].

Биоиндикация имеет ряд преимуществ перед инструментальными методами. Она отличается высокой эффективностью, низкой стоимостью и дает возможность характеризовать состояние среды в течение длительного времени [12].

1.3 Использование лишайников как биоиндикаторов

Опыт применения лишайников в качестве биоиндикаторов насчитывает продолжительный временной период. Ещё в 19 веке финский лишайнолог В.Найландер при описании флоры лишайников Парижа впервые обратил внимание на чувствительность этих растений к загрязнению воздуха. К настоящему времени в России и зарубежом накоплен опыт использования лишайников в качестве биоиндикаторов для изучения динамики загрязнения воздушного бассейна территории [13].

Лишайники встречаются почти во всех географических регионах, поскольку они устойчивы к экстремальным природным условиям. Сегодня в России

использование некоторых лишайников в качестве биоиндикаторов для изучения динамики загрязнения атмосферы было доказано в ряде исследований. За последние 15 лет во многих городах Российской Федерации изучены лишайники. Были изучены популяции лишайников больших и малых городов Сибири, Юга и Северо-Запада России. Обнаружены показатели биоиндикаторов и биотического разнообразия, измерены индексы признаков лишайников и определена территория по уровню загрязнения воздуха. Сравнительный анализ лишайников, произрастающих в Томской области, позволяет сделать вывод, что лишайники образуют районы нефтегазоразведочного комплекса, а Томская-Северская промышленная агломерация имеет геохимические особенности. Данные лишайников по среднему содержанию химических элементов на территории Западной Сибири недостаточны и ограничены несколькими металлами.

Известно, что вещества, повышающие кислотность воздуха и ускоряющие окисление, такие как диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO , NO_2), фтористый (HF) и хлористый водород (HCl), озон (O_3), оказывают разрушающее воздействие на лишайники. Загрязнители вместе с осадками и пылью проникают в таллом из воздуха. Среди групп эко-субстрата наиболее чувствительными к изменению концентрации химических веществ в воздухе являются эпифитные лишайники. Установлено, что лишайники накапливают тяжелые металлы от осадков в 2-5 раз быстрее, чем высшие растения, причем эпифитные лишайники в этом процессе более интенсивны, чем лишайники почвы.

Длительное воздействие низких концентраций загрязняющих веществ, вызывает такое повреждение лишайников, которое не исчезает вплоть до смерти их таллома. Это, по-видимому, связано с тем, что лишайники очень медленно обновляют свои клетки, тогда как у высших растений поврежденная ткань быстро заменяется новыми. В наземных экосистемах методы биоиндикации часто используемых данных по изучению лишайниковой флоры, поскольку лишайники являются очень чувствительными показателями почти любой загрязненной среды. Процедура определения качества воздуха с использованием лишайников называется лишеноиндикацией.

Лишеноиндикация подразделяется на два вида: – активная – лишайники из незагрязненных районов пересаживаются в изучаемый район; исследуется их реакция путем фотографирования исследование лишайников в лаборатории; –пассивная – наблюдения за изменениями относительной численности лишайников. Измеряют проективное покрытие лишайников, получают среднее значение для исследуемой территории [9].

Основными причинами небольшого сопротивления лишайников и их групп загрязнению атмосферы являются следующие:

1. высокая чувствительность водорослевого компонента лишайников, пигментов, которые под воздействием загрязняющих веществ быстро ухудшаются;

2. отсутствие защитных покрытий и связанное с ними беспрепятственное поглощение газов талломом лишайников;

3. строгие требования к кислотности субстрата, изменение которых за определённый предел приводит к гибели лишайников [14,15].

Лишайники способны пролонгировать в сухом, почти обезвоженном состоянии, когда их влагосодержание составляет от 2 до 10% сухого веса, но им требуется по крайней мере периодическая влажность, так как процесс фотосинтеза и дыхания осуществляется только во влажных талломах. Однако они не умирают, а просто приостанавливают все жизненные процессы до первого смачивания. Погруженные в эту «приостановленную анимацию», лишайники могут выдерживать сильное солнечное излучение, сильное нагревание и охлаждение. В связи с тем, что лишайники поглощают воду через поверхность тела в основном из осадков и частично водяного пара, влажность таллома напрямую и зависит от влажности окружающей среды. Таким образом, поступление воды в лишайники происходит, в отличие от высших по физическим, а не по физиологическим законам. Неудивительно, что таллом лишайников часто сравнивают с фильтровальной бумагой. На крупнопористой коре старых деревьев обычно располагаются пушистые типы, редко листоватые и чешуйчатые. На слегка морщинистой коре молодых деревьев растут листовые и чешуйчатые типы, а на гладкой коре находятся в основном накипные виды лишайников. Частота встречаемости лишайников зависит от кислотности вещества. На коре, имеющей нейтральную реакцию, лишайники чувствуют себя лучше, чем на кислом субстрате. Это объясняет разный состав лишайниковой флоры на разных деревьях.

Исследования показали свои плюсы и минусы. К несомненным преимуществам следует отнести низкие материальные затраты на их внедрение, эффективность, способность покрывать значительную площадь, способность получать истинно интегрированную меру степени нарушения компонентов растений конкретно геосистемами под влиянием определенных негативных факторов, связанных во времени и локализованных в пространстве. Лишайники растут очень медленно и долго живут, за ними легко ухаживать и их просто пересаживать, у лишайников нет сосудистой системы, виды лишайников варьируют к SO_2 от очень чувствительных до нечувствительных, лишайники более чувствительны к низким концентрациям SO_2 , чем высшие растения. Наблюдалась хорошая корреляция между распределением лишайников и концентрацией SO_2 в воздухе [16,17].

К недостаткам относятся слабая способность к регенерации, реакция лишайников на воздействие высоких концентраций SO_2 , подсчет и идентификация видов лишайников являются трудоемкими, а также необходимость учета многовариантного воздействия известных факторов окружающей среды в сочетании с воздействием человека на Лишайниковый компонент экосистем (это справедливо для всех без исключения живых организмов и естественных смешанных и искусственных экосистем в целом) и не может дать абсолютные значения концентрации загрязняющих веществ в воздухе, в отличие от физико-химических методов. Среди множества методов оценки состояния атмосферного воздуха определенное место приобрела индикация по

состоянию лишайников. Такой метод достаточно прост и удобен для указания атмосферного загрязнения [18].

1.3.1 Характеристика лишайников

Лишайники представляют довольно большую (около 26 000 видов, свыше 400 родов) очень своеобразную группу бесхлорофильных низших долголетних растений. Лишайники относятся к растениям, тело которых не разделено на корень, стебель и листья, и являются результатом симбиоза трёх компонентов – гриба (микобионта), водоросли и цианобактерии [19].

Лишайники являются высокоэффективными биологическими индикаторами загрязнения воздуха, реагируя на его воздействие на клеточном, индивидуальном, популяционном и общинном уровнях. Они были признаны в качестве потенциальных индикаторов загрязнения воздуха еще в 60-е годы в Европе. С тех пор они играли видную роль в исследованиях загрязнения воздуха во всем мире. Они были описаны как одни из лучших биомониторов в оценке переносимых по воздуху потенциально опасных элементов. Некоторые виды лишайников могут предоставлять экологические архивы атмосферного осаждения потенциально вредных элементов (ПЭП), которые могут быть изучены как данные об изменении окружающей среды. Предоставляемые ими данные могут добавить к пространственным деталям, не всегда доступным из более сложных и дорогих инструментальных сетей мониторинга загрязнения воздуха [20].

Лишайники растут в разнообразных экологических условиях, они происходят от арктических местообитаний до влажных тропических лесов, где они колонизируют широкий спектр субстратов, таких как камень, кора, почва и даже поверхности листьев и коры. Метаболиты лишайника оказывают большое разнообразие биологических воздействий, включая антибиотики, антимикобактерии, противовирусные, противовоспалительное, антиоксидантное, болеутоляющее, жаропонижающее, антипролиферативное и цитотоксическое действие, кроме того, лишайники также обладают активностью против змеиного яда. Даже несмотря на то, что эти разнообразные действия метаболитов лишайников были признаны в настоящее время, их терапевтический потенциал еще не был полностью изучен по многим причинам, включая отсутствие достаточного количества имеющихся в наличии лишайников. Более того, невозможно собрать большее количество образцов лишайников из лесов в связи с сохранением биоразнообразия. Сообщается, что фотосинтетические пигменты деградируют в талломах из-за воздействия токсичных загрязнений. Лишайники имеют медленный темп роста и медленный темп восстановления тканей (поврежденная ткань). На рост лишайников в лесу влияют различные факторы, среди которых наличие мертвых деревьев, рН коры, качество воздуха, относительная влажность и воздействие солнечных лучей [26]. Лишайники в городских и промышленных районах показали много моделей повреждений, таких как потеря хлорофилла и каротиеноидных пигментов из-за загрязнителей, таких как тяжелые металлы, диоксид серы и другие твердые частицы [21].

Лишайники являются симбиозом микобионтов и фотобионтов. Они оказались отличными индикаторами биомониторинга из-за их способности накапливать химические элементы в концентрациях, превышающих их физиологические потребности, и удерживать их в своем слое (теле) в течение длительного времени. Поскольку у лишайников есть атмосферное питание, они получают вещества из влажных и сухих выпадений, поглощая их всей поверхностью таллома. Это позволяет использовать лишайники при крупномасштабном картировании [22].

1.3.2 Мировой опыт использования лишайников в качестве биоиндикаторов

1. Канада

В северо-восточной Канаде (Квебек) в северных регионах срочно требуется определение фонового уровня содержания металлов в лишайниках.

В этом исследовании был измерен элементный состав четырех видов лишайников, собранных по двум местностям (1080 км к юго-западу и 730 км к востоку-западу), покрывающие большую часть северо-восточной Канады.

Элементный анализ проводили на отдельных талломах. Было использовано и равномерно распределено девять участков отбора проб. Первый анализ метода главных компонент, выполненный по всем данным выявил основную аномалию, связанную с самыми южными участками выборки (2 и 3). Участки 2 и 3 показывают более высокое отношение терригенных нерастворимых элементов, таких как Fe, Al, Ti, V, к растворимым элементам, таким как P, Mg, K и Mn, из всех других участков. Это различие между местами отбора проб, вероятно, связано с их южным географическим положением и близостью к загрязнению, а не их биоклиматической областью. Участок 3 расположен в области елового мха, которая является тем же самым биоклиматическим доменом, что и для участка 4, и все же образцы, отобранные в участке 3, показывают высокое содержание металла, по сравнению с участком 4.

Образцы, собранные близко к антропогенной деятельности, позволяют предположить, что выбранные виды могут эффективно контролировать антропогенные возмущения (отложение металлов), тогда как один из видов, по видимому, более чувствителен к антропогенным возмущениям и потенциально может быть использован в качестве биоиндикатора.

В целом результаты показывают, что большая часть бореального биома Квебека остается нетронутой. Элементарный состав выбранных лишайников, независимо от видов, рассмотренных здесь, в основном отражает осаждение частиц из почвенного происхождения. Интенсивная горная деятельность в этом регионе легко регистрировалась во всех образцах. Кроме того, использование многомерного анализа в этом исследовании подчеркивало небольшие аномалии для конкретных металлов в отношении географии и видов даже на низких уровнях концентрации.

При будущих экономических изменениях бореальных регионов, связанных с глобальным изменением климата, некоторые виды могут исчезнуть из некоторых регионов в результате антропогенной деятельности. Отсутствие или очень низкая

численность некоторых видов близко к интенсивным горным и урбанизированным районам в самой южной и западной части (участки 1-3) подтверждает это предположение.

В целом результаты исследования показывают, что большая часть бореальной и субарктической зон Квебека (северо-восточная Канада) по-прежнему остается нетронутой. Элементальная базовая линия, установленная в этих популяциях лишайника, будет способствовать мониторингу загрязнения металлов в бореальных и субполярных экосистемах в связи с глобальным изменением климата и будущим промышленным расширением. [23].

2. Китай

В настоящее время растительность (например, лишайники и мхи) обильно растет на базальтовой подложке. Наибольшая плотность лишайников и мхов появляется в расщелинах лавового цветка и пахоэхо. Полевые наблюдения показывают, что выветривание и выщелачивание проявляются на поверхности горных пород. Лишайники и мхи покрывают большую часть вулканической области, с древесными растениями, такими как кустарники, беседки и березы, растущие в сильно обветренных районах.

Образцы растительности систематически собирались в четырех различных положениях: главный вулканический центр (участок 1), вторичный вулканический центр (участок 2), подножие вулкана (участок 3), и реактивная плита в 4 км от вулкана Лаохэйшань (участок 4).

Массивные образцы базальта были собраны на выветрившейся и частично выветренной поверхности обнаженных пород. Каждый базальт состоит из трех подвыборок, собранных в круге диаметром 1 м. Собранные образцы базальта и растительности были сохранены в запечатанных пакетах. После сбора все пробы переносили в лабораторию и хранили в холодильнике 4°C. Образцы базальта и растительности выполняли кислотное переваривание с использованием прибора микроволнового сбраживания (Anton Paar MW3000) перед измерением элементов с использованием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Agilent 7500ce). Примерно 0,2 г образца базальта взвешивали в чистом резервуаре для перегонки ПТФЭ с 6 мл HNO_3 и 2 мл HF. После этого переваренные образцы растворов нагревали до температуры 150 °C, чтобы сконцентрировать их до 2 мл. Наконец, охлажденные образцы переносили в чистые пластиковые бутылки из полиэтилентерефталата и разбавляли до 80 г 2% -ным раствором HNO_3 . Для растительности 0,5 г взвешивали, а затем переваривали и разбавляли до 40 г, следуя той же методике, что и с базальтом. Обработанные заготовки и стандарты обрабатывались вместе с образцами базальта и растительности. Аналитическая погрешность обычно составляет менее 5% для элементов с концентрацией > 10 ppm и менее 8% для элементов с концентрациями <10 ppm.

Анализ показал, что лишайники и мхи могут абсорбировать и переносить частичные микроэлементы из базальтового субстрата. Для поддержания их роста лишайники должны поглощать не только необходимые микроэлементы, но также некоторые токсичные элементы, такие как S, которые могут быть

ассимилированы в растительность из смежного базальта. Результаты показывают, что С, S, Zn, I, Hg и Pb относительно обогащен лишайник № 1. Степень биологической абсорбции серы самая высокая и достигает 166, за ней следуют I, С, Pb, Zn и Hg со значениями 5,09; 4,66; 4,11; 2,50 и 1,06 соответственно.

Это указывает на то, что при вулканическом извержении высвобождаются различные формы серосодержащего газа (например, H_2S и SO_2). Степень биологической абсорбции ниже 0.004, свидетельствует о том, что Si, Zr, Nb и Hf не могут быть поглощены лишайниками. Большинство элементов показывают синхронные корреляции между базальтами и лишайниками, за исключением Cr, Co, Cu, Zn и Os, что указывает на то, что лишайники более склонны поглощать Cr, Co, Cu, Zn и Os, чем другие элементы [24].

3. Индия

Проведено исследование распределения лишайников на различных высотах, охватывающих различные агроклиматические зоны горного массива Йерко (холмы Шеврой), расположенных в Восточных Гатах Тамил Наду, Индия. Исследование проводилось в течение четырех лет с 2010 по 2013 год. Различные живые и неживые субстраты были собраны вместе с талломами лишайников для изучения природы прикрепления и для проверки содержания влаги, pH и буферизации. Во время осмотра прикрепление лишайников на серебряных дубах и скалах было равномерным

Лишайниковую идентификацию проводили, следуя стандартным процедурам от рода к видовому уровню в соответствии с методом Awasthi. Морфология лишайников, анатомия, наличие лишайной кислоты, формы роста, порошкообразный вид на талломах и характер плодовых тел подверглись критическому анализу для идентификации лишайниковых сообществ. В горах Еркауд, лишайники были обнаружены на серебряных дубах и скалах на расстоянии 500 и 700 м над уровнем моря соответственно. Отмечена положительная корреляция между высотой и числом лишайников на серебряных дубах и скалах. Результаты также показали, что лишайники могут хорошо выживать между 4.3 – 5.5 pH в серебряных дубах и 4.5 – 6.0 pH в горных породах.

Наблюдалась прямая корреляция между влажностью растительного дерева и лишайной привязанностью. Наименьшая популяция лишайников на скалах может быть связана с плохим прилипанием и неровной поверхностью с наименьшим содержанием влаги. Вариации популяций лишайников также были обусловлены антропогенной деятельностью людей в лесных районах. Это повлияло на фотосинтетические пигменты, такие как хлорофилл и каротиноиды в лишайниковых талломах, содержащих циобикобактериальные фотобионты. Всего четыре листовых лишайника, существующих в Восточных Гатах, считаются индикаторами здоровых лесов.

Коэффициент корреляции Пирсона между параметрами окружающей среды и популяцией лишайников показал, что существует значительная корреляция между такими параметрами окружающей среды, как осадки, солнечный свет, скорость ветра, температура и относительная влажность, а также количество лишайников.

Лишайники были идентифицированы на основании анализа морфологии, анатомии и окраски, включая методы тонкослойной хроматографии. Результаты показали, что насчитывалось около 61 различных видов, охватывающих 13 семейств с 33 родами лишайников. Было обнаружено, что количество лишайников в районах с малой высотой меньше всего из-за высокой температуры с низкой относительной влажностью и сильным солнечным светом.

Исследование было проведено с целью оценки различного минерального состава лишайника, который показал, что среди основных элементов кальций был обнаружен в высокой концентрации, за которым следуют магний, калий и фосфор. Среди микроэлементов было обнаружено, что содержание железа выше, чем содержание цинка, марганца и меди. Исследование показало, что наблюдается значительное ухудшение плотности лишайников из-за загрязнения воздуха в горах Еркауд, что отражается в оценке pH коры деревьев и различных металлических элементов, включая зольный состав в лишайнике [21].

4. Новая Зеландия

Использование лишайников для оценки качества воздуха в Новой Зеландии широко не изучалось, несмотря на их широкое применение во всем мире. Из-за этого отсутствия внимания, нет ни одного вида лишайников, который был официально подтвержден для местного использования в качестве биомонитора загрязнения воздуха, хотя несколько видов были идентифицированы как потенциально полезные. Наиболее перспективным из них является *Parmotrema reticulatum*. Общими местами обитания этого вида являются столбы, ворота, фермерские перила, деревья в парках и садах, и они встречаются очень часто в нарушенных местообитаниях, а не в местной растительности.

Районом исследования является район Большого Окленда Новой Зеландии. Окленд расположен в северной части Новой Зеландии, к северу от главных горных цепей и вулканического плато. Качество воздуха в Окленде сильно зависит от выбросов автотранспорта и морских аэрозолей. Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются твердые частицы, NO_2 и CO .

В данном исследовании было использовано несколько методов, такие как:

– Анализ кластеров (СА) был использован для обеспечения первоначального указания количества источников/факторов, которые могут способствовать элементному содержанию в собранных образцах лишайников.

– Анализ главных компонентов (РСА) типичный метод отображения, который способен выявить скрытую структуру набора данных, пытаясь объяснить влияние скрытых факторов на распределение данных. Основная идея РСА состоит в том, чтобы уменьшить размерность набора данных, в котором имеется большое количество взаимосвязанных переменных, при сохранении, насколько это возможно, изменений, имеющих в исходном наборе данных.

– Положительная матричная факторизация (PMF) использовалась для распределения массовых вкладов, определения относительных неопределенностей и близости подгонки модели к лишайниковым элементарным данным. Исследование данных лишайников с различным числом факторов

показало, что модель с пятью факторами является оптимальной, поскольку она показывает наиболее физически значимые и интерпретируемые результаты.

В целом результаты СА показывают, что антропогенная деятельность в основном отвечает за общие массовые концентрации V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb, Pb и Th. Пять факторов модельного решения PMF являются оптимальными с наиболее физически значимыми и интерпретируемыми результатами. Пять источников, решенных с помощью моделей PCA и PMF, представляют собой элементный вклад от автотранспортных средств, деятельности портов, сжигания биомассы, морского аэрозоля и придорожной пыли или земной коры.

Автотранспортные средства составляют 11,8% от общей элементной концентрации в данных лишайников. Деятельность порта в Окленде отвечает за 39,8% общих элементарных концентраций, сжигание биомассы отвечает за 10,2% общих элементарных концентраций в данных лишайников, основные элементы морских аэрозолей составляют 6,9% от общей элементной концентрации в данных лишайников. Выбросы от придорожной пыли и земной коры составляют 5,6% от общей элементной концентрации в лишайнике с высокими концентрациями V, Cd, Mn, Ca, Cr, K, Mg, Th, Pb, Fe, Cu, Zn и Co. [20].

5. Антарктика

Антарктика - это отдаленный регион с враждебной средой, который десятилетиями считается нетронутой территорией. К сожалению, в атмосфере, снеге, морских и наземных организмах обнаружены многочисленные загрязнители. Научные станции, туризм и рыболовство воздействуют в местном масштабе как на наземные, так и на морские экосистемы. Загрязнение, о котором сообщается в Антарктике, также связано с использованием ископаемых видов топлива, аварийных разливов топлива, выхлопных газов, сжигания отходов и удаления сточных вод.

За последние десятилетия несколько экосистем Антарктики подвергались интенсивному мониторингу. Информация о содержании микроэлементов в лишайниках из Антарктиды фрагментирована по видам и элементам. Представленные данные в основном касаются свинца, кадмия, цинка, меди и хрома. Областью исследования является полуостров Поттера, расположенный на самом южном конце острова 25 мая (остров Кинг-Джордж), Южные Шетландские о-ва, Антарктика. Климат преимущественно прохладный океанический, свободных от льда, которые покрыты более низкими растениями, такими как лишайники и мхи. Измеренными элементами были: сурьма, мышьяк, барий, бром, кадмий, цезий, кальций, кобальт, хром, гафний, железо, ртуть, калий, рубидий, селен, скандий, серебро, натрий, стронций, тантал, торий, уран, цинк и редкоземельные элементы, такие как лантан, самарий и тербий.

В этой работе самарий был выбран в качестве геологического индикатора для определения частиц детрита, захваченных в пределах таллома, из-за его низкой аналитической неопределенности. Значительно коррелировали с геологическим

индикатором мышьяк, кальций, лантан, скандий, стронций. Вычислялся перехват элементов, которые показали хорошую корреляцию с самарием.

На элементный состав лишайника могут влиять различные причины, такие как: относительная влажность, направление ветра и расстояние до природных или антропогенных источников. Результаты показали, что 5 элементов непосредственно коррелируют с самарием (мышьяк, кальций, лантан, скандий, стронций). Кальций является важным элементом для растений. Стронций химически подобен кальцию с аналогичным поведением в биологических матрицах. Вследствие этого дополнительный источник кальция и стронция в лишайниках также можно было бы объяснить как преимущественное накопление в связи с их питательным состоянием. Селен выбрасывается в атмосферу из природных и антропогенных источников, но преобладает морской биогенный цикл, на который приходится более 50% общих выбросов селена.

Элементный состав лишайников отражал различия между выбранными участками, в зависимости от расстояния до населенного пункта. Некоторые элементы имели более высокие концентрации вблизи станции Карлини в виде сурьмы, брома, цинка и железа, в то время как цезий был выше в другом районе. Бром и селен показали значительное обогащение во всех местах отбора проб. Данные, полученные в этой работе, будут рассматриваться в качестве исходных данных для будущих исследований на полуострове Поттер, Антарктика. Непрерывность мониторинга лишайников позволит выявить возможные источники этих элементов, и это предоставит ценную информацию об управлении охраняемыми районами Антарктики [25].

6. Малайзия

В работе [26] проводилось исследование, касающееся определения качества воздуха с использованием лишайников в университетском городке Кебангсан Банги, Малайзия. Цель исследования состояла в том, чтобы определить загрязнения в области, где растут лишайники. Участок обладает различными характеристиками для хорошего местоположения, такого как возраст кампуса, который составляет более 40 лет, плотность населения, здания, движение в университетском городке.

Пальмы в кампусе состоят из 36 видов, которые являются хорошими хозяевами для лишайников. Было отобрано 27 участков вокруг кампуса, состоящих из 110 пальм. Лишайники идентифицировали в соответствии с тремя группами, то есть толерантными, умеренными и чувствительными лишайниковыми группами.

Определяли содержание азота и значения рН каждого хозяина на высоте 1 м и 2 м над землей. Содержание азота проводят, используя аппарат состоящий из автоматических пробоотборников, трубок окисления и восстановления в печи, водоотделителя, улавливателя CO_2 колонки для газовой хроматографии, детектора и программного обеспечения для термической обработки для интеграции аналитических результатов. Каждая пальма была выбрана в соответствии с географическим положением, например, рядом с дорогой, холмом,

лесным заповедником, рекой, полем для гольфа и студенческими резиденциями. Местоположение деревьев было записано с использованием GPS, и все данные были введены в ГИС. рН на высоте 1 м составлял $4,87 \pm 0,48$, в то время как значение рН на высоте 2 м составляло $4,88 \pm 0,46$.

Определение качества воздуха было также определено суммарным количеством лишайников в каждом квадрате. Результаты показали, что качество воздуха может быть отнесено к 4 уровням, Оценка качества воздуха будет оцениваться для определения уровня загрязнения в районах, где растут лишайники. Оценка более 10 баллов укажет на то, что этот район является чистым и свободным от загрязнения. Если оценка составляет 0-10, уровень загрязнения умеренно чист. Область слегка загрязнена, когда оценка составляет от -10 до 0, тогда как район сильно загрязнен, если оценка меньше -10. В областях в средней части кампуса и находящиеся недалеко от главной дороги, основным источником загрязнения является главная дорога - общий маршрут для всех транспортных средств, въезжающих и выезжающих из кампуса. Выбросы автотранспортных средств выделяют газы двуокиси азота, монооксид углерода, ПАУ и свинец, цинк, медь, никель. Так же обнаружены области, располагающиеся так же рядом с дорогами, но имеют качество воздуха как «умеренно чистый». Это связано с тем, что дорога не является главной дорогой для транспортных средств в кампусе.

Показатель качества воздуха в кампусе составляет $8,39 \pm 4,33$. Среднее значение рН коры пальмовых деревьев, на которых размещены лишайники, составляет $4,88 \pm 0,48$, а среднее содержание азота в коре дерева составляет $0,5567 \pm 0,3431\%$. В целом, 27 областей исследования можно разделить на три группы, которые представляют собой загрязненный район, умеренно чистые районы и чистые районы. Общее качество воздуха в кампусе умеренно чистое. Тем не менее, мониторинг и контроль необходимы для того, чтобы спасти воздействие загрязнителей на создание среды чистого воздуха в университетском городке.

7. Италия

Мусоросжигатели являются потенциальными источниками тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые могут загрязнять воздух, почву, воду и биоту. Использование лишайников в качестве биоиндикаторов обеспечивает особую точку зрения на атмосферную среду, и различные методы биоиндикации доступны на основе их конкретного ответа. Район исследования расположен во внутренней части региона Молизе (Италия) и расположен вдоль аллювиальной равнины реки Вольтурно, граничащей с двумя холмистыми цепями, идущими от северо-востока к юго-западу. Высота над уровнем моря варьируется от 200 м в низине до 900 м в окружающих холмистых районах. Промышленная деятельность состоит из 30 предприятий.

Район исследования был разделен на 26 единиц выборки (по 1 км² каждый). Поскольку эвтрофикация и неэвтрофикация загрязнителей воздуха оказывают различное воздействие на появление лишайников, отдельно учитывалось

разнообразие видов, которые положительно реагируют на эвтрофикацию и виды, которые реагируют отрицательно.

С помощью техники трансплантации здоровые лишайники брались с относительно чистого участка, пересаживались на места исследования и регистрировались показания. В этой новой среде лишайники накапливали аэрозольные химикаты и адаптировать свой метаболизм главным образом в зависимости от воздействия загрязнения, а не из-за самой трансплантации.

Зарегистрированная эпифитная флора лишайника включала 129 видов. Большинство из них нитрофильные виды, широко распространенные в промышленной зоне и на дне долины, тогда как не-нитрофильные виды более широко распространены на окружающих холмах. Значения, измеренные в контрольных талломах, соответствовали концентрациям незагрязненных сред. Значительное увеличение содержания мышьяка, меди, железа, ртути марганца и ванадия возникло после 6 месяцев воздействия в исследуемой области. Однако содержание ртути и меди показало тенденцию к более высоким значениям в промышленной зоне.

На основании данных, собранных в течение 6-месячного воздействия, оценки средней скорости осаждения ртути для исследуемой области составили 300 ± 93 мг/га/год. Величины ртути в диапазоне 14-85 мг/га/год были оценены в геотермальном районе центральной Италии с пиками 591-980 мг/кг/год на участках, также связанных с прошлой деятельностью по добыче ртути.

Биоразнообразие, основанное на функциональных чертах, показало, что расчетные нитрофильные (олиготрофные) виды значительно увеличиваются с расстоянием от промышленного района, причем более высокие значения на лесных участках, указывают на то, что высокие частоты нитрофильных видов соответствовали участкам с более высоким качеством окружающей среды, а высокие значения нитрофильных видов соответствовали местам с более высокой эвтрофикацией.

Образцы лишайников, выставленные в течение 6 месяцев в исследуемой области, показали увеличение повреждения клеточной мембраны и снижение жизнеспособности. В образцах было накоплено несколько микроэлементов – мышьяка, меди, железа, меди, ванадия и ртути. Принимая во внимание комплексное воздействие загрязнения воздуха на экосистемы, комплексное использование методов на основе лишайников, т.е. методов, отражающих текущие процессы и их воздействия на окружающую среду, может обеспечить полезные биологические результаты для лиц, принимающих решения, для установления правильной научно обоснованной экологически устойчивой политики управления отходами [27].

8. США

Общая цель исследования в работе [28] (Средний Запад, США) заключалась в том, чтобы рекомендовать усовершенствованные методы элементного биомониторинга с использованием мхов или лишайников. Площадь исследования составляет $241\ 800\ \text{км}^2$ и включает штаты Висконсин и части

соседних штатов Иллинойс, Айова и Миннесота. Было собрано пять видов лишайников, распространенных в восточной части Северной Америки. Участками сбора были лесные просеки или кромки.

Калибровка экспертных образцов по измеренным данным с участков мониторинга воздуха использовала переменные места мониторинга для твердых частиц и контролируемые элементы. Всего было собрано 231 полевых образцов. Для анализа были проверены 20 элементов, шесть из которых были исключены (бром, барий, мышьяк, молибден, селен и кремний).

Карты выбранных переменных и лишайников показывают более высокое загрязнение воздуха в более южном и более густонаселенном экорегионе Восточного широколиственного леса. Моделированное полное осаждение азота изображает более гладкую картину местного загрязнения воздуха, чем индексы загрязнения лишайников для азота и серы или загрязняющих металлов. Разные закономерности локального распределения лишайников N и S по сравнению с загрязняющими металлами Al, Co, Cr, Cu и Fe, вероятно, отражают различные виды рассеивания. Ртуть в лишайнике не была хорошо скоррелирована с каким-либо другим элементом или экологической переменной, включая её смоделированное осаждение, вероятно, связанное с длительным пребыванием ртути в атмосфере. Свинец в лишайнике имел сильную корреляцию с покровом развитых земель, единственным элементом, который тесно связан с растительным покровом.

Вызывая простую пространственную зависимость от масштаба, Al и Fe могут иметь более длительный срок пребывания в атмосфере, чем Co, Cr, Cu, N и S, и, таким образом, меньше варьируются по небольшим областям, в соответствии с хорошо документированной региональной картиной распределения Hg.

Итогом исследования является то, что биоиндикация с элементарными данными из естественных лишайников позволяет как более широкий охват, так и более интенсивный отбор проб на общую стоимость программы по сравнению с другими вариантами, в то время как он представляет собой местное качество воздуха лучше, чем региональные моделируемые переменные. Биомониторинг с трансплантацией лишайников, практически невыполним для крупномасштабного мониторинга, поскольку он требует дорогостоящих многократных посещений на один участок и пересадок на источник.

1.3.3 Использование лишайников в качестве биоиндикаторов на Урале и сопредельных территориях

Данных об использовании лишайников в качестве показателей качества воздуха на Южном Урале (Россия) нет. Сегодня такие исследования имеют особое значение, поскольку многие крупные промышленные города с интенсивным движением расположены на территории Южного Урала. Челябинская область (Южный Урал, Россия) имеет такие специфические отрасли, как угольная и атомная энергетика, сталелитейные заводы, являющиеся источниками различных газообразных и твердых загрязнителей в атмосферу. Эти

загрязняющие вещества включают широкий спектр химических элементов, включая редкие и радиоактивные. Эти особенности региона определяют потребность в мониторинге воздуха и анализе выбросов в атмосферу.

Например, город Челябинск – крупный промышленный город со сталелитейными заводами, тремя электростанциями и прочими промышленными объектами. Настоящее исследование содержит рентгенофлуоресцентный анализ состава лишайников в некоторых районах города Челябинска. Многочисленные исследования показали необходимость изучения регионального геохимического фона при оценке эффективности антропогенной нагрузки. Вот почему Южное лесничество государственного заповедника (расположенное недалеко от города Челябинска) было взято в качестве незагрязненного контрольного участка. Целью работы является изучение потенциального использования лишайников в качестве биомониторов качества воздуха в городах, как это показано на примере города Челябинска [22].

Урал расположен между двумя платформенными равнинами – Восточно-европейской и Западно-сибирской, что определяет богатство и разнообразие его лишайнофлоры по сравнению с обширными равнинными пространствами, прилегающими с запада и востока. Еще совсем недавно, не более 15 лет назад, для Урала было известно менее 550 видов лишайников. В последнее десятилетие произошла существенная активизация в исследовании лишайнофлоры южной части Урала. В Башкирском заповеднике обнаружено свыше 380 видов, из которых более 70 оказались новыми для Южного Урала. В настоящее время для лишайнофлоры Урала известно около 1380 видов, относящихся к 336 родам лишайников и систематически близких нелихенизированных грибов [29].

1.4 Постановка цели и задач работы

С учетом проведенного литературного обзора была сформулирована следующая цель научно-исследовательской работы – изучение возможности использования эпифитных лишайников как биоиндикаторов загрязнения городской среды тяжелыми металлами.

В рамках поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. выбрать индикаторный вид эпифитных лишайников;
2. изучить содержание тяжелых металлов в лишайниках;
3. определить имеется ли связь между содержанием металлов в составе лишайников и загрязнения атмосферы воздуха.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Пробоотбор

Город Челябинск расположен в лесостепной зоне Южного Урала. Это крупный промышленный город с развитой транспортной сетью. Для проведения химического анализа талломов лишайников были отобраны усредненные образцы с типичных местообитаний в пределах городских урбоэкосистем: Точка 1 – городской бор, точка 2 – городской парк, точка 3 – территория вблизи металлургического комбината, точка 4 – территория транспортного узла в центре города, точка 5 – территория рядом с теплоэлектростанцией (рис.2). Также в качестве контрольного участка – точка 6 – была выбрана территория научно-производственной базы южного лесничества государственного заповедника.

Городской бор (точка 1) – это реликтовый сосновый лес в западной части города Челябинска. Памятник природы областного значения. Расположен по правому берегу реки Миасс. Общая протяженность с северо-востока на юго-запад около 5,5 километров, а средняя ширина около 2 километров. Общая площадь бора, за вычетом свободных от леса площадей, не более 12 квадратных километров, из них лесной площади – 1138 гектаров, а лесопокрытой – 852.

Сад Победы (точка 2) – это городской парк. Основан в 30-х годах прошедшего столетия. Расположен парк в Тракторозаводском районе города Челябинска и занимает площадь более 19 гектаров.

Металлургический комбинат (точка 3) является одним из крупнейших в России предприятий полного металлургического цикла. Он занимает площадь более 22 квадратных километров и является градообразующим предприятием, обеспечивающим рабочими местами более 17 тысяч человек.

Территория транспортного узла в центре города (точка 4) охватывает крупнейший проспект города с прилегающими магистралями. Промплощадка теплоэлектростанции (точка 5) размещена в северо-восточной части города.



Рисунок 2 – Карта г. Челябинска и расположение точек отбора проб (участки 1-5)

Южное лесничество государственного заповедника расположено на восточном макросклоне Южного Урала (рис. 3) Это часть Южно-Уральского физико-географического региона Уральского нагорья.

Южное лесничество государственного заповедника имеет первостепенное значение как банк генов, сохраняющий флору. Он служит в качестве стандарта для ненарушенных и относительно ненарушенных растительных сообществ южно-уральских сосновых и березовых лесов, которые серьезно повреждены поблизости. Заповедник является убежищем для многих эндемичных и вымерших растений и редких и охраняемых видов. Климат района резко континентальный, количество осадков около 438,9 мм в год с максимумом в теплое время. Наивысшая точка заповедника – гора ИлEMENTАУ высотой 754 м над уровнем моря [30].

Методика исследований заключалась в изучении структуры эпифитных лишайников вдоль градиента "источник загрязнения – фон". Пробные площади размером 20x20 м² были заложены в вегетационный период июня - июля 2015 года непосредственно на территории города и на фоновой территории. Изучаемые территории отличались степенью антропогенного воздействия. Деревья для выборки лишайника были выбраны из областей с различными уровнями

загрязнения: относительно чистый, умеренно загрязненный, едва загрязненный. Описания лишайниковых синузид проводили на высоте 1.0 - 1.5 м от основания стволов деревьев с четырех экспозиций. Учитывали все виды лишайников-эпифитов, встречающихся на деревьях пробной площади. Собранные лишайники были высушены.

Активность вида оценивали, исходя из частоты встречаемости вида на деревьях пробной площади и его проективного покрытия. Для каждого вида отмечали его активность по 5-бальной шкале: 5 – высокоактивный, обильно встречается на всех исследованных деревьях пробной площади, покрытие его на стволе и/или нижних ветвях дерева достигает 50 %; 4 – активный, встречающийся на большинстве исследованных деревьев пробной площади, покрытие его достигает 10 %; 3 – умеренно-активный, встречается с частотой 50-30 %, но с низким покрытием (5-1 %); 2 – малоактивный, частота встречаемости 30-10 %, покрытие незначительно (меньше 1 %); 1 – неактивный (случайный), редко встречается (менее 10 % деревьев), зачастую мелкие талломы, проективное покрытие приближается к нулю [13], [14].

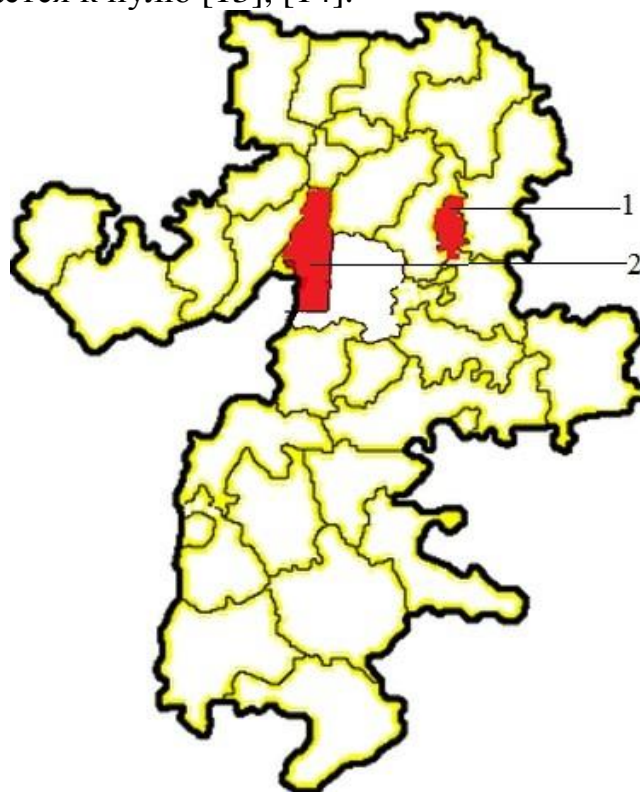


Рисунок 3 – Карта Челябинской области: 1 – город Челябинск, 2 – Южное лесничество государственного заповедника

2.2 Рентгенофлуоресцентный анализ

Рентгенофлуоресцентный анализ зарекомендовал себя в качестве надежного инструмента одновременного определения макро- и микроэлементов в различных растительных и биологических материалах. Одним из преимуществ прямого РФА перед аналитическими методами, для выполнения которых требуется разрушение

(вскрытие) исходного образца воздействием высокой температуры или химических реагентов, является отсутствие в результатах неопределенностей, связанных именно с этой стадией пробоподготовки. При этом исключается неполнота вскрытия образца, загрязнение его реактивами, а также потери элементов в ходе реакции и другие, порой неподдающиеся контролю факторы [31].

С помощью рентгенофлуоресцентного анализа анализируются различные элементы от натрия (Na) до урана (U) в веществах, которые находятся в порошкообразном, твердом, растворенном состояниях, а также те, что нанесены на поверхности или осаждены на фильтры.

Принцип действия рентгеновского спектрометра основывается на облучении образца первичным излучением рентгеновской трубки, измерении интенсивности вторичного флуоресцентного излучения от образца на длинах волн, соответствующих определяемым элементам, и последующем расчете массовой доли этих элементов по предварительно построенной градуировочной характеристике [32].

Для учета индивидуальных особенностей в каждой точке собирали 9-15 образцов лишайников. Высушивали их на воздухе и для каждой точки готовили три смешанных образца, каждый из которых состоял из 3-5 лишайников. Воздушносухие образцы лишайников сжигали в муфельной печи при 550 °С. Зола измельчили в ступке смешивали с небольшим количеством поливинилового спирта, растворенного в воде, прессуют с использованием гидравлического пресса в таблетку. Образцы были проанализированы в лаборатории Центра нанотехнологий Южно-Уральского государственного университета с использованием рентгенофлуориметра Rigaku SuperMini200. Относительное стандартное отклонение результатов не превышало 5%.

2.3 Обработка данных

Программное обеспечение, используемое в работе, включало Microsoft Word, Microsoft Excel, GRAPHS. Следующие статистические параметры распределения элементов были рассчитаны в терминах полученных результатов: средняя, стандартная ошибка, стандартное отклонение.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Определение индикаторного вида

На основании результатов предыдущих исследований [33,34] был выбран индикаторный вид *Parmelia sulcata*. Он встречался во всех точках исследований. Этот вид широко распространен на Южном Урале.

Лишайник *P. sulcata* – довольно распространенный лишайник в городской среде, который произрастает преимущественно на берёзе. Является среднеустойчивым к загрязнениям видом. Данный вид также характеризуется значительными изменениями химического состава при загрязнении атмосферного воздуха [35,36].

Мы обнаружили *P. sulcata* на всех участках. Но мы должны признать, что на территории города мало лишайников (точки 3, 4, 5). Этот вид, в то же время, является доминирующим в эпифитной популяции лишайников в фоновой зоне (точка 6). На основании эпифитного распределения лишайников в районах отбора проб мы выделили несколько зон загрязнения атмосферы.

Первая (загрязненная) зона включает территорию металлургического комбината (точка 3), территорию электростанции (точка 5) и транспортный узел (точка 4). Вторая (относительно чистая) территория парка (точка 2). Но поскольку парк расположен на территории города, исследуемые величины близки к пределам. Третья (самая чистая) зона соответствует фоновой территории (точка 6) и городскому сосновому бору (точка 1). Установлено, что биоразнообразие лишайников и их проективное покрытие уменьшаются по мере увеличения антропогенной нагрузки. Лихенометрическое исследование показало, что средняя степень покрытия точек, расположенных вблизи железной дороги, составила 9,2-19,0%. Максимальная степень покрытия (67,0-82,8%) и максимальная оценка 5 баллов были зарегистрированы в точках, удаленных от железной дороги. Предыдущие исследования показали, что интенсивность антропогенного воздействия влияет на проективное покрытие лишайников.

В городской и антропогенной среде плотность населения лишайников снижается более интенсивно, чем количество видов. Например, в городских сосновых лесах и в городском парке плотность лишайников довольно высока, но средний проективный покров лишайниковых синузид существенно ниже, чем на фоне территории (южное лесничество государственного заповедника) (рис.4). Кроме того, доля деревьев без лишайников намного больше (64,2%), в отличие от фоновых лишайниковых сообществ государственного заповедника, где это значение не превышает 12%.



а)

б)

Рисунок 4 – Среднее покрытие лишайниковых синузий в сосновом бору города Челябинска (а) и в государственном заповеднике (б)

3.2 Элементный состав лишайников

Нами был проведен элементный состав зольного остатка лишайников. Среднее содержание оксидов меди и оксида серебра в образцах невелико (табл. 4). Но медь и серебро в лишайнике даже в небольших концентрациях, как известно, делают клеточную мембрану более проницаемой и поэтому «отталкивают» калий более интенсивно, чем другие металлы. Содержание оксида цинка в образцах из экологически неблагоприятных районов почти в два раза выше (рис. 5). Например, уровень оксида цинка на фоновой территории составляет 0,86%, что в пробах лишайников, собранных с деревьев на территории вблизи электростанции, составляет 1,74%. Содержание оксидов хрома и марганца в лишайниках собранных на территории города в два и более раз выше, чем для фоновой территории.

Таблица 4 – Содержание оксидов металлов в зольном остатке лишайников

Соединения	Точки					
	1	2	3	4	5	6
MgO	0.94	2.26	3.12	2.13	2.79	1.6
Al ₂ O ₃	8.21	17.52	10.67	14.51	16.43	9.6
SiO ₂	16.70	31.89	28.53	27.13	19.54	16.34
P ₂ O ₅	3.37	2.93	1.74	2.13	2.67	4.98
SO ₃	3.66	3.58	7.04	3.29	5.28	4.15
Cl	0.72	0.48	1.34	0.71	1.30	0.78
K ₂ O	6.51	6.49	3.24	4.23	5.32	9.67
CaO	34.65	10.74	8.65	9.76	12.74	23.64
TiO ₂	2.50	1.6	3.24	3.12	2.95	2.85
MnO	1.00	0.45	1.96	2.01	2.04	0.87

Окончание таблицы 4

Fe ₂ O ₃	18.46	20.33	25.56	26.41	24.45	23.10
ZnO	1.02	1.02	1.56	1.43	1.74	0.86
SrO	–	–	–	–	–	0.11
Ag ₂ O	0.51	0.33	0.42	0.31	–	0.41
CuO	–	0.33	0.51	0.49	0.47	0.63
CrO	1.70	–	2.10	2.11	2.14	0.36
ZrO ₂	0.05	0.05	0.23	0.16	0.14	–
Y ₂ O ₃	–	–	0.09	0.08	–	0.05

Различают три зоны, отличающиеся содержанием оксидов хрома и марганца: относительно чистая (до 0,9%) – фоновая территория; Умеренно загрязненные (от 1,0% до 1,9%) – городские сосновые леса; (От 2,0% до 2,9%) – территория металлургического комбината (3), транспортный узел в центре города (4), электростанция (5).

Содержание оксидов тяжелых металлов в талломах лишайников *P. sulcata* представлено в диаграммах на рисунках 5-11.

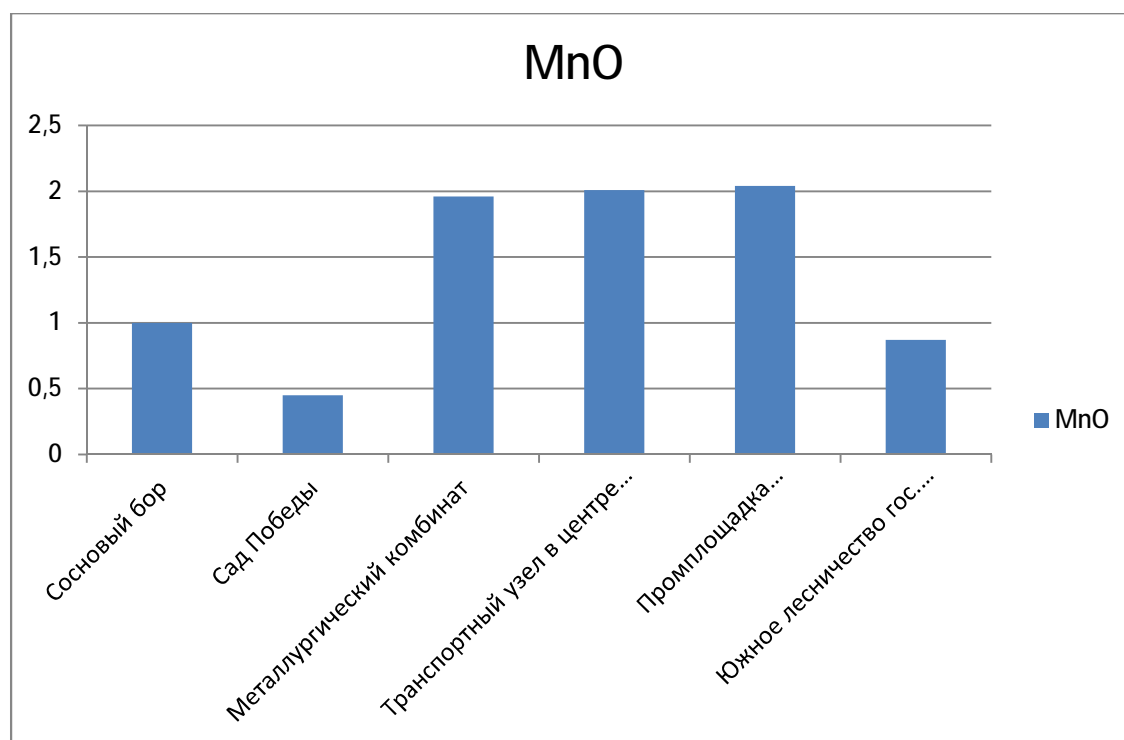


Рисунок 5 – Содержание марганца и его соединений в лишайниках
Наибольшая концентрация наблюдается на территории возле ТЭЦ.

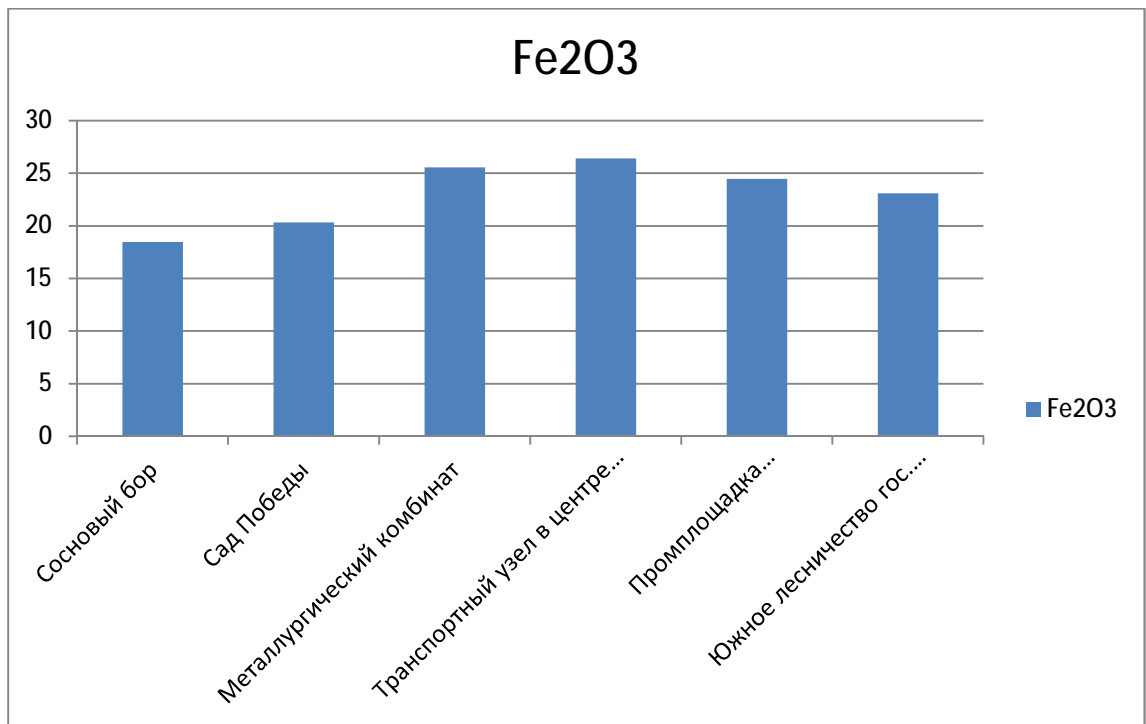


Рисунок 6 – Содержание железа и его соединений в лишайниках

Наибольшая концентрация оксида железа (III) наблюдается в районе транспортного узла в центре города.

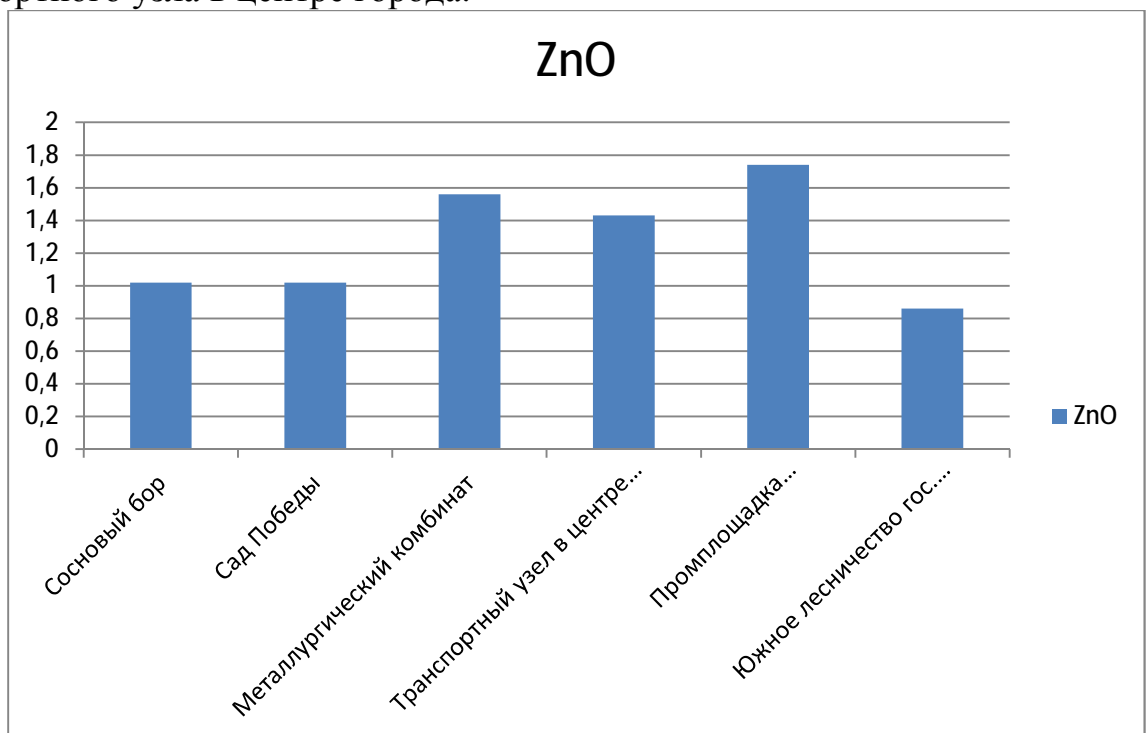


Рисунок 6 – Содержание железа и его соединений в лишайниках

Наибольшая концентрация оксида цинка – на территории возле ТЭЦ.

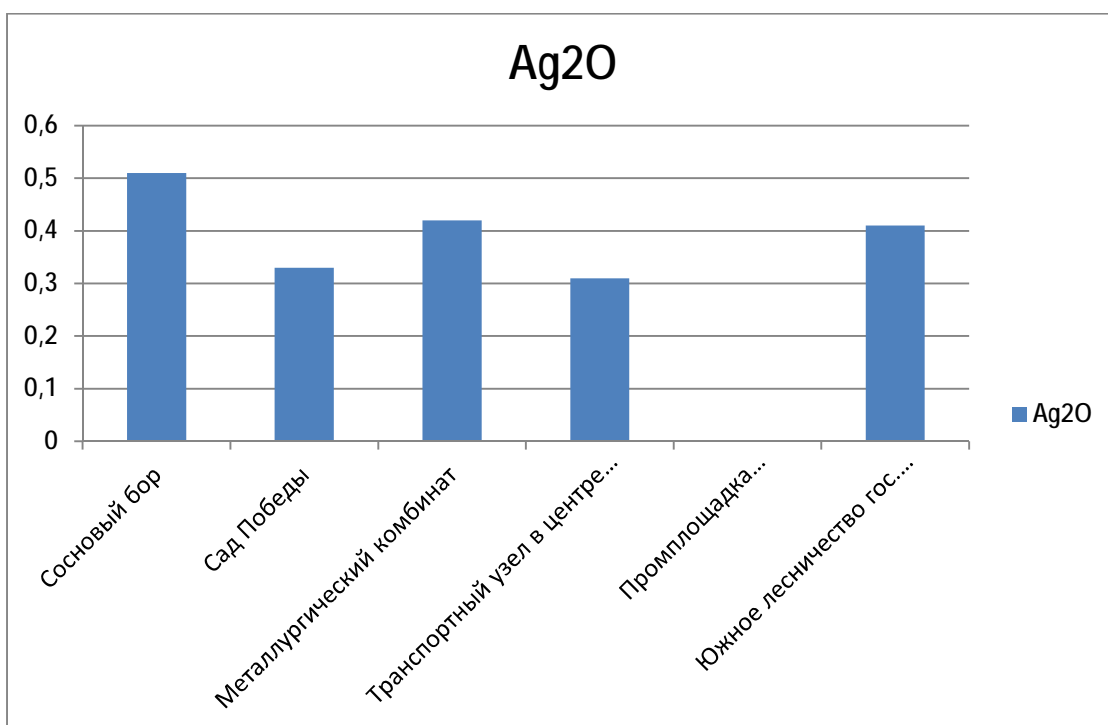


Рисунок 8 – Содержание серебра и его соединений в лишайниках

Наибольшее содержание соединения серебра наблюдается в сосновом бору.

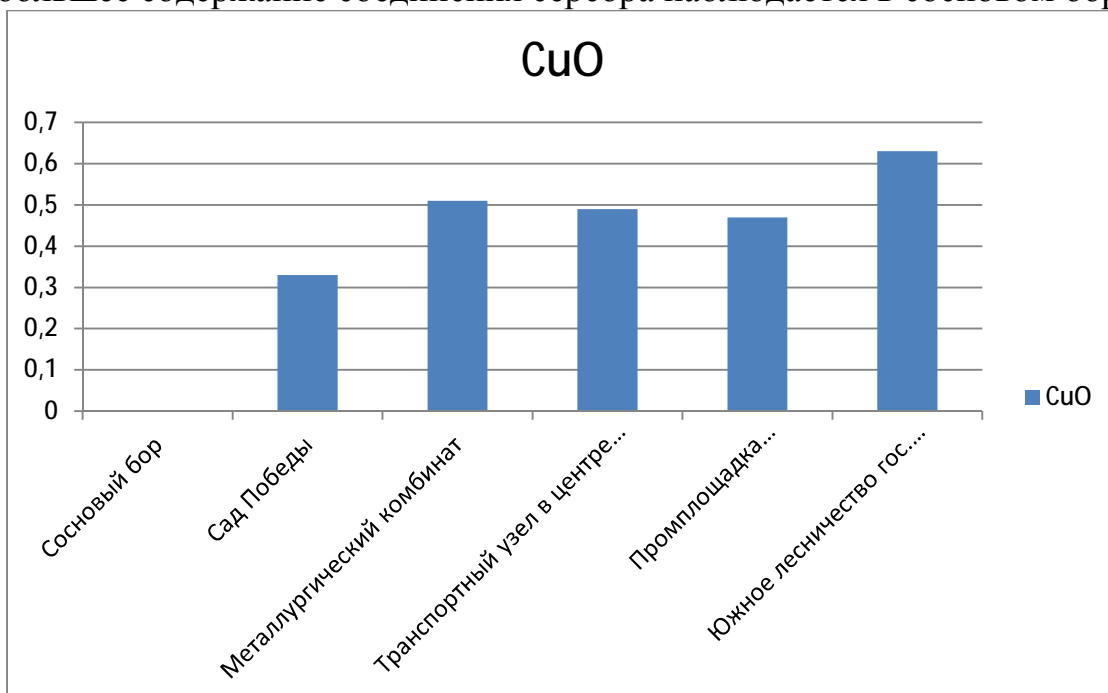


Рисунок 9 – Содержание меди и её соединений в лишайниках

Наивысшая концентрация оксида меди наблюдается в контрольной точке.

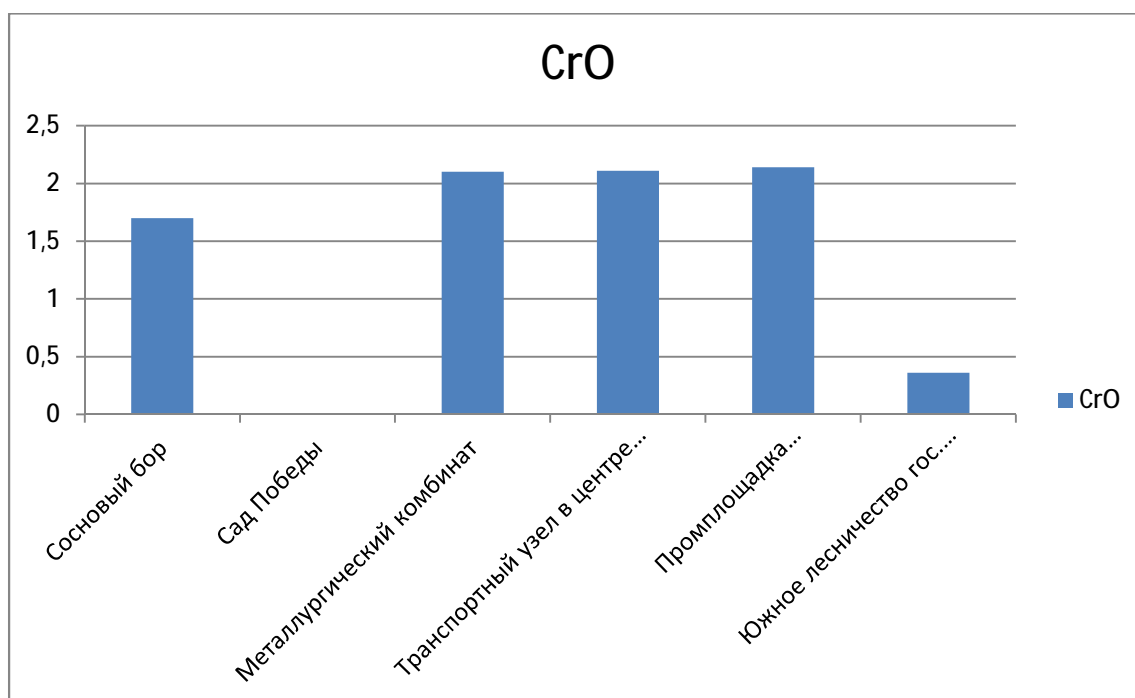


Рисунок 10 – Содержание хрома и его соединений в лишайниках

Наибольшая концентрация – на территории возле ТЭЦ

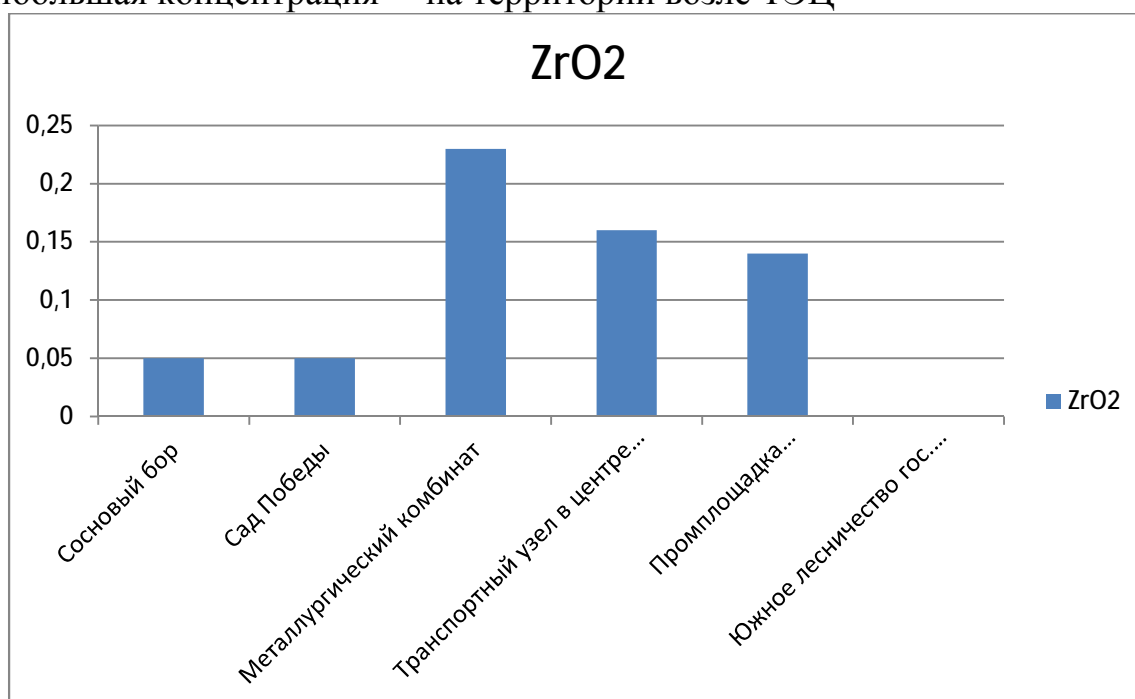


Рисунок 11 – Содержание циркония и его соединений в лишайниках

Наибольшая концентрация диоксида циркония наблюдается на территории металлургического комбината.

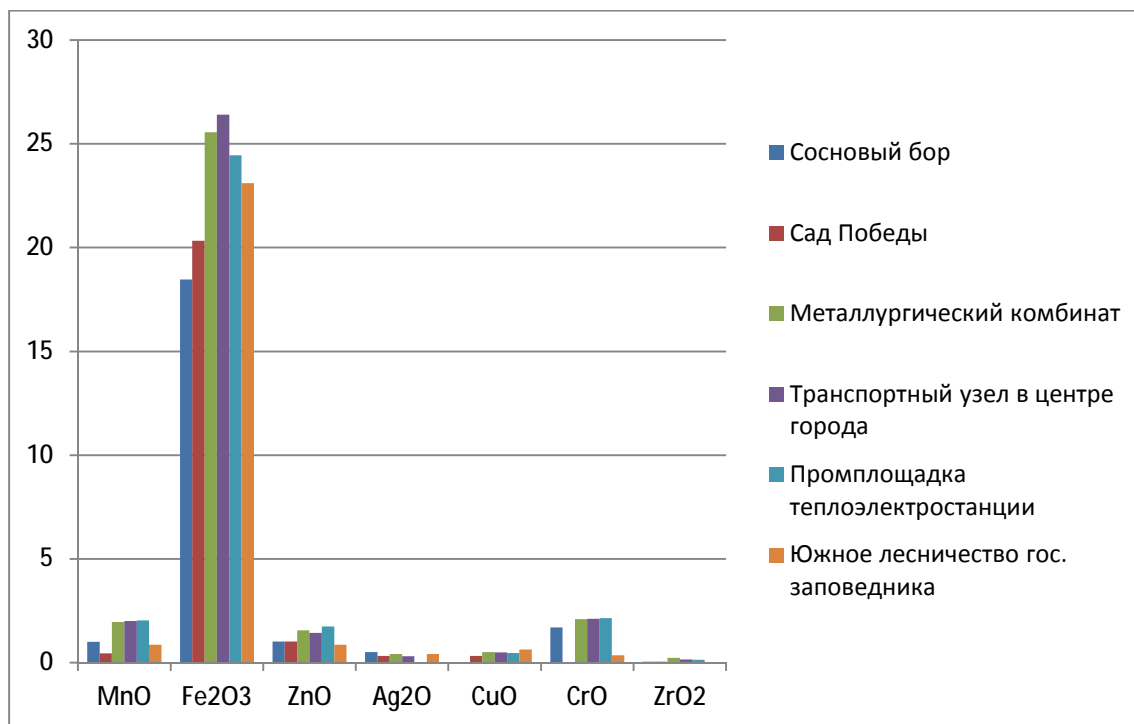


Рисунок 12 – Содержание тяжелых металлов в лишайниках *P. Sulcata*

Наибольшая кумулятивная способность вида *P. Sulcata* отмечается по отношению к железу (рисунок 12). Железо не столь значительно влияет на жизненность талломов, так как накапливается в межклеточном материале в более высоких концентрациях, в отличие от других соединений. Наибольшей концентрации содержание оксида железа (III) достигает на участке транспортной развязки в центре города и на территории вблизи металлургического комбината.

3.3 Связь между содержанием металлов в лишайниках и загрязнением атмосферного воздуха

Изучив все результаты исследования, можно сделать вывод о том, что наибольший вклад в загрязнение атмосферы тяжелыми металлами несут предприятия металлургической и энергетической промышленности, а также выбросы загрязняющих веществ автотранспортом.

По данным загрязнения города Челябинка в 2015 году видно, что максимальные концентрации оксида марганца превышают концентрацию по данным нашего исследования в 1,5 раза. А концентрация оксида железа (III) наоборот, повышена более чем в 50 раз (рисунок 13).

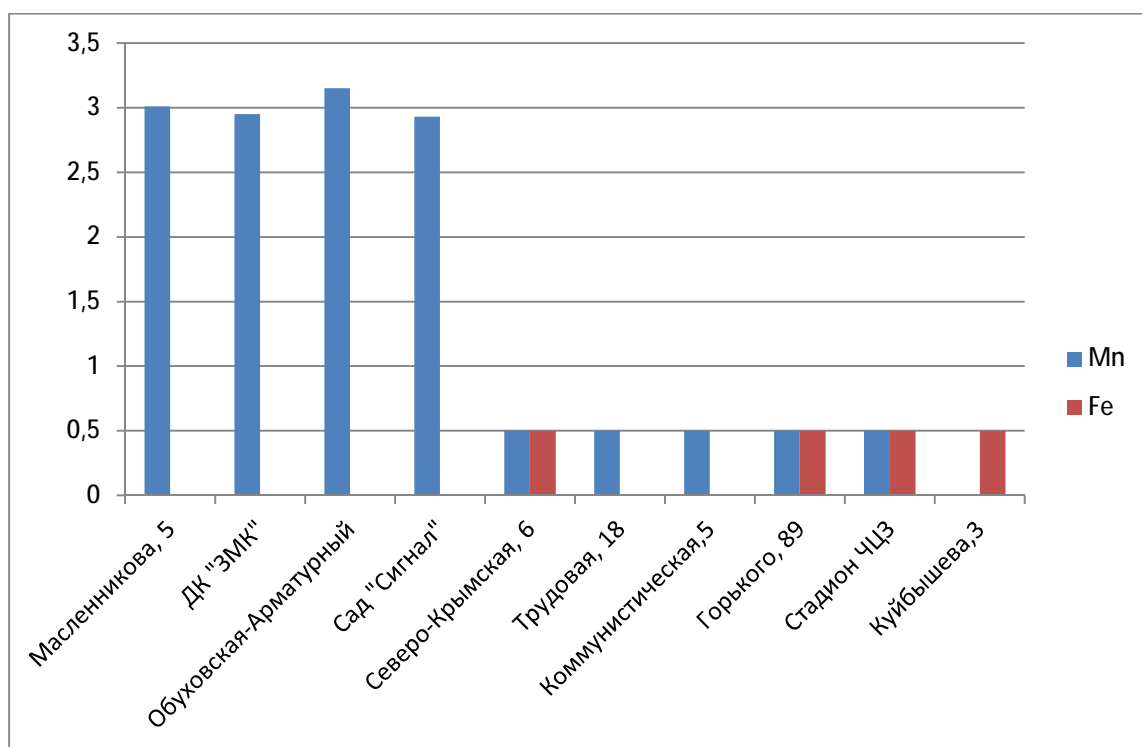


Рисунок 13 – Диаграмма по загрязнению города Челябинска в 2015 году

Проведя данное исследование и сравнив его с работой [37] мы определили, что лишайники одного вида, которые отобраны в различных географических районах, имеют отличное разнообразие и концентрации химических элементов в своём составе. Поглощение химических элементов лишайниками связано с различными экологическими факторами, характеристикой природных условий, морфологических особенностей, а также свойств элементов.

В лишайниках вида *P. sulcata* в исследовании [37] обнаружены такие химические элементы, как: никель, ванадий, свинец, кадмий, кобальт, которые в свою очередь в лишайниках в рамках нашего исследования не встречаются. В свою очередь в нашем исследовании встречаются такие соединения элементов, как: стронций, иттрий, хлор, титан и др. Отсюда можно сделать вывод, что элементами, которые присутствуют в составе лишайников данного вида в любом географическом районе, являются железо, медь, цинк, хром и марганец.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов предыдущих исследований других авторов, а также ввиду широкой распространенности на Южном Урале, нами был выбран индикаторный вид лишайника *P. sulcata*.

Изучив элементный состав лишайников вида *P. sulcata* можно говорить о том, что общими встречающимися соединениями являются медь, железо, цинк, марганец и хром. Также в элементный состав лишайников могут входить никель, ванадий, кадмий, кобальт, иттрий, серебро, титан, а также лантаноиды и актиноиды в зависимости от географического района и удаленности от источников загрязнения атмосферного воздуха.

Полученные результаты исследования свидетельствуют о сильном отрицательном влиянии загрязнения атмосферы на большинство естественных и искусственных растительных сообществ, расположенных в черте города. С ростом антропогенной нагрузки наблюдается тенденция к уменьшению разнообразия лишайников и количества деревьев с лишайниками. Наибольший вклад в загрязнение атмосферы тяжелыми металлами несут предприятия металлургической и энергетической промышленности, а также выбросы загрязняющих веществ автотранспортом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лиходумова И.Н. К вопросу о загрязнении воздушного бассейна города Челябинска / И.Н. Лиходумова, А.В. Малаев, К.А. Пронина // Экологические проблемы региона и пути их решения. – 2016. – С. 165-170.
2. Мынбаева Б.Н. Динамика загрязнения г. Алматы тяжелыми металлами / Б.Н. Мынбаева, П.К. Шингисова, Г.Д. Анарбекова // Гидрометеорология и экология. – 2009. – №4(55). – С. 59-63.
3. Веремчук Л.В. Загрязнение урбанизированной территории как системный процесс взаимодействия факторов окружающей среды / Л.В. Веремчук, В.И. Янькова, Т.И. Виткина, К.С. Голохваст, Л.С. Барскова // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2015. – №3. – С. 35-42.
4. Скворцова, Т.А. Избирательная аккумуляция тяжелых металлов представителями семейства Rosaceae в условиях города Оренбурга (на примере *Malus Cerasifera* spach. и *Malus prunifolia* (willd) / Т.А. Скворцова // Вестник ОГУ. – 2017. – №3(203). – С. 90-94.
5. Турбина, Е.С. Влияние загрязнения атмосферы взвешенными веществами и тяжелыми металлами на заболеваемость органов дыхания у детей / Е.С. Турбина // Здоровье населения и среда обитания. – 2012. – №2. – С. 21-23.
6. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2015 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://74.rospotrebnadzor.ru/268> (дата обращения 26.06.2016)
7. Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2015 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://www.minesco174.ru/media/kompleksnye-doklady/> (дата обращения 20.06.2016)
8. Андреев, Д.Н. Биоиндикация состояния окружающей среды по относительным показателям флуоресценции хлорофилла / Д.Н. Андреев // Лесной вестник. – 2014. – №5. – С. 6-9.
9. Бобко, В.П. Биологические методы экологического мониторинга / В.П. Бобко // Декада экологии. – 2016. – С. 45-46.
10. Балычев О.В. Применение методов биоиндикации для оценки качества окружающей среды / О.В. Балычев, А.И. Курбанов // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. – 2016. – №1. – С. 250-253.
11. Рассадина, Е.В. Биоиндикация и её место в системе мониторинга окружающей среды / Е.В. Рассадина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии имени П.А. Столыпина. – 2007. – №2(5). – С. 48-53.
12. Сатуева, Л.Л. Лишайники как биоиндикаторы состояния воздушной среды урбанизированных территорий / Л.Л. Сатуева // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2016. – №1. – С.11-13.
13. Большунова Т.С. Элементный состав лишайников как индикатор загрязнения атмосферы / Т.С. Большунова, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская // Экология и промышленность России. – 2014. – №11. – С. 26-31.

14. Сатуева, Л.Л. Атмосферные загрязнители и их влияние на эпифитные лишайники урбанизированной среды / Л.Л. Сатуева // Биоэкономика и экобиополитика. – 2016. – № 1 (2). – С. 222-245.
15. Убаева Р.Ш. Биоиндикационные методы исследования состояния атмосферного воздуха г. Грозного / Р.Ш. Убаева, Л.Л. Сатуева, Р.А. Гакаев // Ежегодная итоговая конференция профессорско-преподавательского состава Чеченского государственного университета "Естественные науки". – 2016. – С. 163-166.
16. Гакаев Р.А. Массивы зеленых насаждений урбанизированных территорий и их влияние на нормализацию окружающей среды / Р.А. Гакаев, Л.Л. Сатуева // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. – 2016. – С. 10-16.
17. Сатуева Л.Л. Влияние комплекса факторов экологического неблагополучия окружающей среды города на зеленые насаждения / Л.Л. Сатуева, Р.Ш. Убаева // Вестник Чеченского государственного университета. 2015. – № 1. – С. 186-189.
18. Сатуева, Л.Л. Лишайники как тест – объект биоиндикации / Л.Л. Сатуева // Природные и социальные экосистемы. – 2016. – С. 95-99.
19. Большунова Т.С. Оценка степени трансформации природной среды в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области по данным изучения снегового покрова и лишайников-эпифитов: дис. ... докт. геол.-мин. наук / Т.С. Большунова. – Томск, 2015. – 182 с.
20. Voamponsem L. K. Source apportionment of air pollutants in the Greater Auckland Region of New Zealand using receptor models and elemental levels in the lichen, *Parmotrema reticulatum* / L. K. Voamponsem, C.R. de Freitas, D. Williams // Atmospheric Pollution Research. – 2017. – V. 8. – P. 101-113.
21. Ponmurugan P. Survey, distribution pattern and elemental composition of lichens in Yercaud hills of Eastern Ghats in southern India / P. Ponmurugan, G. Ayyappadasan, R. S. Verma, S. Nayaka, G. Ayyappadasan, R. S. Verma, S. Nayaka // Journal of Environmental Biology. – 2016. – V. 37. – P. 407-412.
22. Kostryukova A.M. Monitoring air quality using lichens in Chelyabinsk, Russian Federation / T. G. Krupnova, I.V. Mashkova, E.E. Schelkanova // International Journal of GEOMATE. – 2016. – Vol. (Issue). – P. 000-000.
23. Darnajoux R. Determination of elemental baseline using peltigeralean lichens from Northeastern Canada (Québec): Initial data collection for long term monitoring of the impact of global climate change on boreal and subarctic area in Canada / R. Darnajoux, F. Lutzoni, J. Miadlikowska, J.-P. Bellenger // Science of the Total Environment. – 2015. – V. 533. – P. 1-7.
24. Bao Y. Migration of trace elements from basalt substrate to co-located vegetation (lichens and mosses) at the Wudalianchi volcanos, Northeast China / Y. Bao, Y. Ju, B. Li, Y. Sun // Journal of Asian Earth Sciences. – 2016. – V. 118. – P. 95-100.
25. Bubach D. Elemental composition of *Usnea* sp lichen from Potter Peninsula, 25 de Mayo (King George) Island, Antarctica / D. Bubach, S. P. Catan, C. Di Fonzo, L. Dopchiz, M. Arribere, M. Ansaldo // Environmental Pollution. – 2016. – V. 210. – P. 238-245.

26. Samsudin M. W. Measuring air quality using lichen mapping at Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Campus / M. W. Samsudin, L. Din, Z. Zakaria, J. Latip, T. Lihan, A. A. Jemain, F. Samsudin // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. – 2012. – V. 59. – P. 635-643.
27. Paoli L. Lichens as suitable indicators of the biological effects of atmospheric pollutants around a municipal solid waste incinerator (S Italy) / L. Paoli, S. Munzi, A. Guttová, D. Senko, G. Sardella, S. Loppi // *Ecological Indicators*. – 2015. – V. 52. – P. 362-370.
28. Will-Wolf S. Lichen elemental content bioindicators for air quality in upper Midwest, USA: A model for large-scale monitoring / S. Will-Wolf, S. Jovan, M. C. Amacher // *Ecological Indicators*. – 2017. – V. 78. – P. 253-263.
29. Урбанавичюс, Г.П. Урал и его значение в разнообразии лишенофлоры России / Г.П. Урбанавичюс // *Биологическое разнообразие растительного мира Урала и сопредельных территорий*. – 2012. – С. 305-306.
30. Дудорева Т.А. Материалы к флоре лишайников заповедника / Т.А. Дудорева, А.В. Мелехин, А.В. Лагунов // *Вестник ОГУ*. – 2014. – №6(167). – С. 18-22.
31. Сайбель О.Л. Изучение элементного состава травы цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) / О.Л. Сайбель, Е.В. Чупарина, А.М. Мартынов // *Евразийский союз ученых*. – 2015. – №3(12). – С. 160-161.
32. Сарыглар Р.Ч. Рентгенофлуоресцентный анализ растений Хемчикской котловины / Р.Ч. Сарыглар, У.В. Ондар // *Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая*. – 2014. – С.139.
33. Машкова И.В. Биоиндикация атмосферного воздуха на территории южного лесничества государственного заповедника / И.В. Машкова, М.А. Попкова // *Теоретические и практические проблемы развития современной науки*. – 2016. – С. 14-16.
34. Машкова И.В. Мониторинг атмосферного воздуха южного лесничества заповедника / И.В. Машкова, А.Г. Щербина, Ю.В. Смольникова // *Актуальные проблемы экологии и природопользования*. – 2015. – С. 265-268.
35. Туан М. Н. Экстрактные вещества лишайника *Parmelia sulcata* / М.Н. Туан, Д.Н. Ведерников, В.И. Рощин // *Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья*. – 2012. – С. 302.
36. Мейсурова, А.Ф. Содержание металлов в слоевищах *Parmelia sulcata* Ржевско-Старицкого Поволжья (Тверская область) / А.Ф. Мейсурова // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. – 2016. – №3. – С. 185-196.
37. Красногорская Н.Н. Анализ содержания тяжелых металлов и соединений серы в лишайниках *Parmelia sulcata* в условиях городской среды / Н.Н. Красногорская, Е.А. Клеттер, Р.Р. Сулейманова, Журавлева С.Е. // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – №2. – С. 338-346.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Состав атмосферного воздуха в городе Челябинске в 2015 году (часть 1)

Наименование проб		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}									
		Взвешенные вещества	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Оксид азота	Фенол	Формальдегид	Бензол	Аммиак	Четыреххлористый углерод
Контрольная точка № 1 (западная сторона свалки) ул. Аджарская д. 1 «а»	01	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	02	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	03	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	04	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	05	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	06	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	07	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	08	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	09	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	10	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	11	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	12	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	итого	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
Контрольная точка № 2 (южная сторона свалки)	01	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	02	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	03	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	04	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	05	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	06	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	07	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	08	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	09	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	10	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	11	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	12	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51

Продолжение таблицы А.1

	Итого	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
Контрольная точка № 3 (восточная сторона свалки) ул. Героев Танкограда, д. 43	01	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	02	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	03	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	04	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	05	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	06	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	07	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	08	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	09	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	10	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	11	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	12	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	итого	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
Контрольная точка № 4 (северная сторона свалки) ул. Автоматики д. 8	01	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	02	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	03	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	04	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	05	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	06	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	07	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	08	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	09	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	10	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	11	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	12	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	итого	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
Контрольная точка № 5 (жилая зона) ул. Анапская д. 114	01	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	02	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	03	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	04	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	05	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	06	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	07	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	08	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51

Окончание таблицы А.1

	09	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	10	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	11	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	12	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51
	итого	-	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,15	0,51	0,50	0,51

Таблица А.2 – Состав атмосферного воздуха в городе Челябинске в 2015 году (часть 2)

Наименование проб		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}									
2015 год		Взвешенные вещества	Диоксид азота	Оксид углерода	Сера диоксид	Оксид азота	Фенол	Формальдегид	Серная кислота	Марганец и его соединения	Фториды неорганические плохорастворимые
Масленникова ул., 5 ЧТПЗ	01	2,47	0,50	0,93	0,80	-	-	2,25	0,06	0,53	0,53
	02	2,45	1,04	0,92	0,80	-	-	2,21	0,07	3,83	0,56
	03	2,31	1,19	0,89	1,05	-	-	1,74	0,06	2,00	0,43
	04	2,47	1,25	2,50	0,90	-	-	1,50	0,05	2,50	0,47
	05	2,38	1,17	0,72	1,00	-	-	1,52	0,06	2,00	0,42
	06	2,41	1,08	0,71	1,07	-	-	1,70	0,06	3,00	0,38
	07	2,50	1,17	0,77	1,00	-	-	1,80	0,06	4,00	0,18
	08	2,47	1,50	0,77	1,00	-	-	1,85	0,06	5,00	0,20
	09	2,47	1,33	0,81	1,40	-	-	2,15	0,06	4,00	0,20
	10	2,44	1,42	0,84	1,07	-	-	2,25	0,06	4,00	0,18
	11	2,41	1,30	0,78	0,88	-	-	1,94	0,06	2,46	0,15
	12	2,44	1,23	0,82	0,97	-	-	1,90	0,06	2,83	0,22
	итого	2,44	1,18	0,96	1,00	-	-	1,90	0,06	3,01	0,33

Продолжение таблицы А.2

Наименование проб		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}										
		Взвешенные вещества	Диоксид азота	Оксид углерода	Сера диоксид	Оксид азота	Фенол	Формальдегид	Серная кислота	Марганец и его соединения	Фториды неорганические плохорастворимые	
2015Год												
	ул.Новороссийская, ДК "ЗМК" ЧТПЗ	01	2,47	0,69	0,91	0,80	-	-	1,60	0,06	2,00	0,53
		02	2,61	1,58	0,81	1,03	-	-	1,68	0,05	3,17	0,50
		03	2,40	1,44	0,98	1,25	-	-	1,60	0,05	2,00	0,45
		04	2,42	1,13	0,85	0,90	-	-	1,63	0,05	2,50	0,47
		05	2,41	1,08	0,79	1,00	-	-	1,70	0,06	2,00	0,47
		06	2,44	0,82	0,66	0,73	-	-	1,65	0,06	2,00	0,53
		07	2,44	0,88	0,78	0,87	-	-	1,95	0,06	5,00	0,44
		08	2,47	0,85	0,77	1,20	-	-	1,85	0,06	4,00	0,47
		09	2,47	1,00	0,82	1,53	-	-	2,25	0,07	4,33	0,51
		10	2,44	0,83	0,77	1,00	-	-	2,00	0,06	3,00	0,44
		11	2,40	0,71	0,70	0,84	-	-	1,79	0,06	2,20	0,39
		12	2,39	0,69	0,78	0,84	-	-	1,46	0,05	3,17	0,38
итого	2,45	0,98	0,80	1,00	-	-	1,76	0,06	2,95	0,47		
ул. Обуховская - Арматурный пер ЧТПЗ	01	2,45	0,63	0,88	0,80	-	-	1,60	0,06	2,25	0,55	
	02	2,62	1,13	0,79	1,53			1,93	0,07	3,00	0,62	
	03	2,45	0,94	0,73	1,10	-	-	1,74	0,05	2,50	0,43	
	04	2,47	1,13	0,83	1,00	-	-	1,55	0,06	2,50	0,47	
	05	2,44	1,00	0,77	0,87	-	-	1,75	0,06	2,67	0,47	
	06	2,47	1,25	0,71	0,93	-	-	1,70	0,06	2,00	0,44	
	07	2,35	1,33	0,73	1,13	-	-	1,77	0,05	5,67	0,45	
	08	2,38	1,25	0,80	1,20	-	-	2,00	0,06	4,00	0,47	
	09	2,41	1,58	0,77	1,07	-	-	2,25	0,06	4,00	0,51	
	10	2,44	1,33	0,86	1,00	-	-	2,35	0,06	4,33	0,47	
	11	2,38	0,90	0,79	0,88	-	-	1,97	0,06	2,60	0,40	
	12	2,39	1,02	0,79	0,80	-	-	1,85	0,06	2,33	0,39	
	итого	2,44	1,12	0,79	1,03	-	-	1,87	0,06	3,15	0,47	

Продолжение таблицы А.2

Наименование проб		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}									
		Взвешенные вещества	Диоксид азота	Оксид углерода	Сера диоксид	Оксид азота	Фенол	Формальдегид	Серная кислота	Марганец и его соединения	Фториды неорганические плохорастворимые
территория сада «Сигнал» ЧТПЗ	01	2,61	0,65	0,75	1,00	-	-	1,84	0,05	1,30	0,35
	02	2,88	1,51	0,56	1,08	-	-	2,28	0,07	3,02	0,23
	03	2,71	1,25	0,66	1,27	-	-	1,78	0,06	1,70	0,16
	04	2,81	0,80	0,65	1,00	-	-	1,88	0,06	1,90	0,17
	05	2,83	1,17	0,64	1,17	-	-	1,73	0,06	1,70	0,24
	06	2,83	0,75	0,54	1,20	-	-	1,90	0,07	2,53	0,18
	07	2,90	1,25	0,57	1,27	-	-	2,13	0,06	3,30	0,22
	08	2,74	1,55	0,67	1,30	-	-	2,30	0,09	6,30	0,27
	09	2,82	1,45	0,61	1,33	-	-	2,55	0,08	4,17	0,20
	10	2,80	1,45	0,64	1,27	-	-	2,57	0,08	4,20	0,18
	11	2,48	0,83	0,63	1,00	-	-	2,21	0,06	2,56	0,09
	12	2,46	0,95	0,67	1,00	-	-	1,83	0,06	2,50	0,07
	итого	2,74	1,13	0,63	1,16	-	-	2,08	0,07	2,93	0,20
ул. Танкистов 152 пост № 2	01	0,55	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	02	0,45	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	03	0,39	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	04	0,47	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	05	0,40	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	06	0,43	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	07	0,55	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	08	0,42	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	09	0,50	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	10	0,41	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	11	0,48	2,00	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	12	0,50	2,06	1,02	1,00	1,33	-	-	-	-	-
	итого	0,46	2,01	1,00	1,00	1,33	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы А.2

Наименование проб 2015 год		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}												
		Взвешенные вещества	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Оксид азота	Марганец и его соединения	Фенол	Формальдегид	Углерод (сажа)	Свинец	Бензин	Железа оксид	Фторид водорода
ул. Северо-Крымская, 6	02	0,64	1,00	1,00	2,00	1,33	0,50	0,25	0,15	-	0,50	-	0,50	0,50
	03	0,55	1,31	0,91	2,00	1,33	0,50	0,64	0,15	-	0,50	-	0,50	0,50
	04	0,47	1,14	1,00	2,00	1,33	0,50	0,50	0,58	-	-	-	-	0,50
	05	0,51	1,00	1,01	2,00	1,33	0,50	0,33	0,10	-	-	-	-	0,50
	06	0,47	1,00	1,00	2,00	1,33	0,50	0,25	0,15	-	-	-	-	0,50
	итого	0,53	1,09	0,98	2,00	1,33	0,50	0,39	0,23	-	0,50	-	0,50	0,50
ул. Трудовая, 18	02	5,12	1,00	0,75	2,13	1,33	0,50	0,25	0,15	-	-	-	-	0,50
	03	2,48	1,00	0,93	2,75	1,33	0,50	0,33	0,15	-	-	-	-	0,50
	04	0,52	1,00	1,00	2,00	1,33	0,50	0,33	0,40	-	-	-	-	0,50
	05	0,26	1,00	1,00	2,00	1,33	0,50	0,25	0,15	-	-	-	-	0,50
	итого	2,10	1,00	0,92	2,22	1,33	0,50	0,29	0,21	-	-	-	-	0,50
ул. Коммунистическая, 5	02	0,71	1,00	1,00	1,25	1,00	0,50	0,29	0,15	-	-	-	-	0,50
	03	0,50	1,00	0,35	1,70	1,20	0,50	0,38	0,15	-	-	-	-	0,50
	04	0,52	1,00	1,00	2,00	1,33	0,50	0,56	0,40	-	-	-	-	0,50
	05	0,37	1,00	1,00	1,23	1,33	0,50	0,23	0,15	-	-	-	-	0,50
	итого	0,53	1,00	0,84	1,55	1,22	0,50	0,37	0,21	-	-	-	-	0,50
ул. Горького, 89	02	1,20	7,20	0,99	5,71	3,06	0,50	0,44	0,15	-	0,50	-	0,50	0,50
	03	0,65	1,54	0,93	2,82	1,29	0,50	0,80	0,15	-	-	-	-	0,50
	04	2,15	1,00	1,03	2,00	1,33	0,50	0,33	2,30	-	-	-	-	0,50
	05	1,05	1,06	1,01	2,03	1,33	0,50	0,27	1,63	-	-	-	-	0,50
	итого	1,26	2,70	0,99	3,14	1,75	0,50	0,46	1,06	-	0,50	-	0,50	0,50
ул. Российская, 19 Б	02	0,64	1,80	0,89	2,33	2,47	0,50	0,27	0,15	-	0,50	-	0,50	0,50
	03	0,56	1,45	0,96	1,89	1,31	0,50	0,52	0,16	-	-	-	-	0,50
	05	0,33	1,00	1,00	2,00	1,33	0,50	0,25	0,18	-	-	-	-	0,50
	итого	0,51	1,42	0,95	2,07	1,70	0,50	0,35	0,16	-	0,50	-	0,50	0,50

Продолжение таблицы А.2

Наименование проб 2015 год		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}												
		Взвешенные вещества	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Оксид азота	Марганец и его соединения	Фенол	Формальдегид	Углерод (сажа)	Свинец	Бензин	Железа оксид	Фторид водорода
Стадион ОАО ЧЦЗ	02	0,75	1,13	1,20	2,00	1,33	0,50	0,25	0,15	-	0,50	-	0,50	0,50
	03	0,69	1,17	0,88	2,00	1,33	0,50	0,63	0,15	-	0,50	-	0,50	0,50
	04	1,02	1,18	1,12	2,00	1,33	0,50	0,83	2,48	-	-	-	-	0,50
	05	0,56	1,03	1,01	2,00	1,33	0,50	0,25	0,22	-	-	-	-	0,50
	06	0,63	1,18	1,10	2,00	1,33	0,50	0,25	0,90	-	-	-	-	0,50
	итого	0,73	1,14	1,06	2,00	1,33	0,50	0,44	0,78	-	0,50	-	0,50	0,50
ул. Новороссийская, 25	03	0,73	1,20	1,00	2,25	1,33	-	-	-	0,21	-	-	-	0,50
	04	0,63	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,30	0,88	0,62	-	-	-	0,50
	05	0,43	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,25	0,18	0,52	-	-	-	0,50
	06	0,33	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,25	0,90	0,48	-	-	-	0,50
	итого	0,53	1,05	1,00	2,06	1,33	-	0,27	0,65	0,46	-	-	-	0,50
ул. Блюхера, 29	03	0,55	1,40	1,00	2,00	1,33	-	-	-	0,51	-	-	-	0,50
	04	0,82	2,30	1,08	1,66	1,33	-	0,50	2,95	0,80	-	-	-	0,50
	05	2,23	1,00	1,13	2,00	1,33	-	0,33	0,20	0,54	-	-	-	0,50
	06	0,52	1,00	1,00	2,00	1,33	-	0,33	0,30	0,48	-	-	-	0,50
	итого	1,03	1,43	1,05	1,92	1,33	-	0,39	1,15	0,58	-	-	-	0,50
ул. Кирова пр-т Победы	03	5,03	1,00	1,90	5,00	1,33	-	-	0,15	0,60	-	0,03	-	-
	04	3,66	1,00	1,57	2,00	1,33	-	1,33	3,10	0,60	-	0,03	-	-
	05	0,90	1,00	1,09	2,35	1,33	-	0,28	0,50	0,48	-	0,03	-	-
	06	0,80	1,00	1,15	2,59	1,33	-	0,83	0,18	0,48	-	0,03	-	-
	итого	2,60	1,00	1,43	2,99	1,33	-	0,81	0,98	0,54	-	0,03	-	-
ул. Кирова - ул. Бр. Кашириных	03	5,39	4,00	1,30	5,25	1,33	-	-	0,15	0,39	-	0,03	-	-
	04	1,71	3,56	1,24	2,43	1,33	-	1,50	3,32	1,31	-	-	-	-
	05	0,69	1,00	1,19	2,00	1,33	-	0,33	0,23	0,53	-	-	-	-
	06	0,57	1,00	1,27	2,88	1,33	-	0,33	0,20	0,48	-	-	-	-
	итого	2,09	2,39	1,25	3,14	1,33	-	0,72	0,98	0,68	-	0,03	-	-

Продолжение таблицы А.2

Наименование проб 2015 год		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}												
		Взвешенные вещества	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Оксид азота	Марганец и его соединения	Фенол	Формальдегид	Углерод (сажа)	Свинец	Бензин	Железа оксид	Фторид водорода
Свердловский пр. - ул. Воровского	03	3,02	1,40	0,63	4,75	1,33	-	-	0,15	0,51	-	0,03	-	-
	04	1,06	3,31	1,14	2,37	1,33	-	-	2,85	0,50	-	0,03	-	-
	05	0,75	1,00	1,00	2,15	1,33	-	-	0,23	0,52	-	0,03	-	-
	06	0,55	1,00	1,00	2,00	1,33	-	-	0,30	0,48	-	0,03	-	-
	итого	1,35	1,68	0,94	2,82	1,33	-	-	0,88	0,50	-	0,03	-	-
ул. Овчинникова - ул. Степана Разина	03	3,43	1,00	0,64	3,75	1,33	-	-	0,15	0,51	-	0,03	-	-
	04	1,49	1,00	1,03	2,00	1,33	-	0,37	1,91	0,73	-	0,03	-	-
	05	0,76	1,00	1,03	2,00	1,33	-	0,29	1,55	0,48	-	0,03	-	-
	06	0,78	1,00	1,30	2,00	1,33	-	0,25	4,20	0,48	-	0,03	-	-
	итого	1,62	1,00	1,00	2,44	1,33	-	0,30	1,95	0,55	-	0,03	-	-
ул. Солнечная, 4	03	0,01	1,00	1,00	4,75	1,33	-	0,25	0,15	-	-	-	-	-
ул. Татищева, 268	03	0,01	1,00	1,00	1,50	1,33	-	0,25	0,15	-	-	-	-	-
пр. Победы, 215	03	0,01	1,00	1,00	4,50	1,33	-	0,25	0,15	-	-	-	-	-
ул. Куйбышева, 3	06	0,47	12,00	1,97	2,25	1,33	-	2,50	6,50	0,48	-	-	0,50	-
пр. Ленина, 35	11	0,29	1,00	1,03	2,00	1,33	-	-	-	0,51	-	1,85	-	-

Таблица А.3 – Состав атмосферного воздуха в городе Челябинске в 2015 году (часть 3)

Наименование проб		Загрязняющие вещества в долях соответствующих ПДК _{с.с}					
		Диоксид серы	Диоксид азота	Цинк оксид	Кадмий оксид	Серная кислота	Ртуть металлическая
ул. Аральская д. 21 ЧЦЗ	01	0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
	02	0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
	03	0,0008	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
	05	0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
	06	0,0006	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
	07	0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
	08	0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
	09	0,0007	0,0002	0,002	0,000002	0,015	0,00002
	10	0,0006	-	0,001	0,000002	0,015	0,00002
	11	0,0007	-	0,001	0,000002	0,015	0,00002
	12	0,0007	-	0,001	0,000002	0,015	0,00002
	итого	0,0007	0,0002	0,002	0,000002	0,015	0,00002
	ул. Волховская д. 1 ЧЦЗ	01	0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015
02		0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
03		0,0008	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
05		0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
06		0,0006	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
07		0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
08		0,0007	0,0002	0,003	0,000002	0,015	0,00002
09		0,0007	0,0002	0,002	0,000002	0,015	0,00002
10		0,0006	-	0,001	0,000002	0,015	0,00002
11		0,0007	-	0,001	0,000002	0,015	0,00002
12		0,0007	-	0,001	0,000002	0,015	0,00002
итого		0,0007	0,0002	0,002	0,000002	0,015	0,00002