

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 05.04.06 Экология и природопользование
 Отделение школы геологии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Ртуть в эпифитных мхах Томска и окрестностей

УДК 546.49:543:582.32(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ71	Якубович Евгения Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Межибор Антонина Михайловна	Кандидат геолого-минералогических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Трубникова Наталья Валерьевна	Доктор исторических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Будницкая Юлия Юрьевна	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Барановская Наталья Владимировна	Доктор биологических наук, доцент		

Томск – 2019 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа объемом 127 страниц машинописного текста, состоит из введения, 7 глав и заключения; работа проиллюстрирована 23 таблицами и 15 рисунками. Список литературы составляет 104 наименования.

Ключевые слова: биомониторинг, окружающая среда, концентрация ртути, эпифитные (древесные) мхи, рекреационные зоны, город Томск, Томский район.

Объектом исследований являются эпифитные мхи вида дикран (*Dicranum scorarium*), отобранные с коры деревьев на территории г. Томска и его окрестностей.

Предметом исследования является содержание ртути в эпифитных мхах на территории г. Томска и его окрестностей.

Цель дипломной работы: установить содержание ртути в эпифитных мхах на территории г. Томска и окрестностей посредством изучения концентрации ртути в исследуемых пробах и выявление степени влияния антропогенных и природных факторов на накопление ртути с помощью биогеохимических исследований.

В летние и осенние месяцы 2016- 2018 гг. на территории г.Томска и окрестностей отобрано 34 пробы эпифитных мхов. В период с 2017 по 2019 гг. пробы проанализированы с помощью атомно-абсорбционного метода на приборе Анализатор ртути «РА-915+» с пиролитической приставкой «ПИРО-915+».

Полученные данные лабораторных анализов обработаны с помощью программ Microsoft Excel, Stastistica, Corel Draw построены карты накопления ртути в мхах на территории г. Томска и окрестностей в программе Surfer.

Область применения: полученные фактические данные и результаты могут быть использованы заинтересованными организациями в области охраны природы и здравоохранения с целью выявления зон с повышенным

содержанием ртути и мерам по их снижению, а также в учебном процессе при проведении занятий для студентов экологических специальностей.

Экономическая значимость работы: ценность данного исследования и его результатов состоит в том, что можно обозначить зоны повышенных содержаний ртути в окружающей среде и рекомендовать населению внимательно следить за своим здоровьем, учитывая данный экологический фактор, так как здоровье население является значимым фактором в состоянии экономики.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ – государственный стандарт;

ИШПР – инженерная школа природных ресурсов;

НДС – налог на добавленную стоимость;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ПДКм.р. – максимальная разовая предельно допустимая концентрация;

ПК – персональный компьютер;

СанПин – санитарные правила и нормы;

СНиП – строительные нормы и правила;

СПУ – Северный промышленный узел;

ССН – сборник сметных норм;

ТПУ – Национальный исследовательский Томский политехнический университет;

ТЭЦ – тепловая электростанция (электроцентр);

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭГР – эколого-геохимические работы;

ЭМП – электромагнитное поле;

ЮНЕП –United Nations Environment Programme.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МХОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ	12
1.1 Характеристика ртути	12
1.2 Использование мхов для определения содержания ртути в окружающей среде.....	18
2 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Г.ТОМСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ	25
2.1 Геологическое строение.....	27
2.2 Полезные ископаемые.....	28
2.3 Рельеф	29
2.4 Климатические особенности	29
2.5 Поверхностные воды.....	32
2.6 Почвенно-растительный покров.....	33
3 ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Г.ТОМСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ	35
3.1 Источники загрязнения окружающей среды	36
3.2 Состояние атмосферного воздуха	39
3.3 Ресурсы и качество подземных вод.....	41
3.4 Радиационная обстановка	42
4 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	43
4.1 Отбор проб и пробоподготовка	43
4.2 Аналитическое обеспечение исследований	48
Атомно-абсорбционный анализ ртути	48
4.3 Методика обработки аналитической информации.....	51
5 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ЭПИФИТНЫХ МХАХ НА ТЕРРИТОРИИ Г.ТОМСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ.....	52
5.1 Содержание ртути во мхах г. Томска и его окрестностей	52
5.2. Ассоциативные связи ртути с другими химическими элементами в составе мхов	58
5.3 Региональные отличия накопления ртути в эпифитных мхах Томска и окрестностей в сравнении с данными по субъектам РФ.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	69
Приложение А	80

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Экосистемы крупных промышленных городов находятся под всё нарастающим техническим прессингом со стороны многочисленных источников загрязнения. В России создано множество программ, направленных на улучшение экологической ситуации, и особое место среди них занимает мониторинг окружающей среды, призванный в постоянном режиме следить за изменением концентраций загрязняющих веществ в экосистемах. Одним из наиболее опасных загрязнителей является ртуть и ее соединения.

В большинстве стран ртуть и ее различные соединения относятся к глобальным загрязняющим веществам, которые в обязательном порядке подлежат санитарно-гигиеническому и экологическому контролю в окружающей и жилой среде, производственной сфере. Отходы производства и потребления, содержащие ртуть относят к первому классу опасности, что предполагает обязательную утилизацию этих отходов различными методами (например, демеркуризация растворами хлорного железа, термическая с получением ступпы и др.). В редких случаях ртутьсодержащие отходы подвергаются захоронению на специально оборудованных полигонах.

В наше время миру известно большое количество ртутных и ртутьсодержащих минералов. Из наиболее известных минералов ртути главнейшим промышленным минералом является киноварь – HgS (Hg 86,2%).

По усредненным оценкам ученых, человечеством было произведено около семи ста тысяч тонн ртути, практически вся часть которой рассеяна по земной поверхности. Достаточно большое количество ртути поступало и по сей день поступает в окружающую среду в ходе различных видов человеческой деятельности. Основными антропогенными источниками поступления ртути в окружающую среду являются в первую очередь

тепловые электростанции, работающие на угле, производство цинка и меди, производство строительных материалов, хлорно-щелочное производство.

Ряд жизнеопасных и критических ситуаций, связан с загрязнением окружающей среды ртутью. Например, массовое отравление метилртутью в Ираке с высоким смертельным исходом, всемирно известное отравление в префектуре Кумамото [23].

Именно поэтому в последние десятилетия повышенное внимание уделяется изучению закономерностей пространственного распределения и концентрации ртути в окружающей среде и выделению ртуть-загрязняющих зон. За счет большого количества исследований происходит усовершенствование аппаратуры и химико-аналитических методов определения ртути и её форм нахождения в окружающей среде, жилой и производственной, в живых организмах.

Ртуть - уникальнейший элемент по своим геохимическим и токсикологическим свойствам, которые обуславливают ее содержание, концентрирование и распределение в компонентах окружающей среды. Этот металл и его соединения способны накапливаться в пищевых цепях, имеют множество форм миграции и особую специфику трансформации в компонентах окружающей среды, обширный и разносторонний спектр негативного влияния на человека и живые организмы. Высокая токсичность ртути и ее соединений способствуют деформации (нарушению) белкового обмена и ферментативной деятельности организмов.

За счет высокой миграционной подвижности ртуть имеет масштабное распространение в природных экосистемах, но особую значимость при изучении распределения ртути в окружающей среде приобретают такие природные компоненты, которые в большей степени способны концентрировать ртуть и могут служить индикаторами ее концентрации. К таким природным индикаторам относят: годовые кольца и листья деревьев, лишайники, грибы и мхи.

Мхи являются по своей природе оптимальными биоиндикаторами. За счет отсутствия корневой системы у этих растений, загрязняющие вещества впитываются, удерживаются и накапливаются на их поверхности.

Объектом исследований являются эпифитные мхи вида дикран (*Dicranum scorarium*), отобранные на территории Томска и его окрестностей.

Предметом исследований является содержание ртути в эпифитных мхах.

Цель работы - установить содержание ртути в эпифитных мхах на территории Томска и его окрестностей посредством изучения количества ртути в исследуемых пробах и выявления степени влияния антропогенных и природных факторов на накопление ртути с помощью биогеохимических исследований, провести сравнительный анализ полученных результатов с данными из других регионов Сибири, оценить экологическую обстановку, связанную с загрязнением ртутью на изучаемых территориях.

Задачи:

- поиск и изучение научной и методической литературы по изучаемой теме;
- системное опробование эпифитных мхов на территории г. Томска и его окрестностей;
- подготовка проб для лабораторных аналитических исследований;
- оценка содержания ртути в сухой массе мха методом атомной абсорбции;
- обработка полученных аналитических данных;
- анализ результатов, выводы и определение возможных источников загрязнения ртутью исследуемой территории.

Научная новизна работы: Впервые эпифитные мхи для анализа содержания ртути отбирались на территории г. Томска и его окрестностей. Были проведены исследования концентрации ртути во мхах с помощью анализатора ртути "РА-915+" с пиролитической приставкой "ПИРО-915+". Построены геохимические карты-схемы районного распределения ртути.

Практическая значимость работы: данное исследование позволит произвести экологическую оценку атмосферного воздуха в г.Томске и его окрестностях на содержание ртути. Результаты проделанной работы могут быть использованы во многих сферах исследований (например, оценить влияние паров ртути на здоровье человека и окружающую среду в целом), прогнозах (установить риск заболеваемости людей, связанных с содержанием ртути в воздухе), а также стать толчком для решения сложившейся экологической проблемы.

Фактические материалы и методы исследования

Отбор производился по произвольной схеме, точно, в зависимости от наличия мохового покрова на деревьях на высоте не менее 0,5-1 метра от уровня почвы. Все пробы были отобраны в летне-осенний период 2016-2018 гг. Всего отобрано, обработано и проанализировано 34 пробы эпифитных мхов. Все пробы отбирались и анализировались по стандартным методикам в соответствии с нормативными документами.

Анализ содержания ртути в образцах сухой массы эпифитных мхов выполнялся в лаборатории микроэлементного анализа в международном научно-образовательном центре «Урановая геология» в Инженерной школе природных ресурсов ТПУ на ртутном анализаторе методом атомной абсорбции.

Апробация работы

Частично результаты работы докладывались на XXIII Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова в 2018 г. (Томск).

Объём и структура диссертации: работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы, содержит 23 таблицы, 15 рисунков, приложения. Объем рукописи – 127 страниц машинописного текста.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю доценту, канд.геол.-минерал.наук Межибор Антонине Михайловне за ценные советы, поддержку и помощь на всех этапах выполнения работы, научное

руководство и отзывчивость. Автор благодарен за проведение лабораторных исследований руководителю лаборатории Н.А. Осиповой,. Автор выражает благодарность профессору, д. г-м. н. Рихванову Леониду Петровичу, за незаменимые советы, рекомендации, помощь и внимание к работе. Автор благодарен всем сотрудникам отделения геологии за возможность обучения, помощь и поддержку, ценные советы и рекомендации в ходе выполнения работы.

1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МХОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Экологические тенденции последних десятилетий приобрели негативный характер, что определяет острую необходимость выявления факторов экологического риска и разработки мер по снижению неблагоприятного влияния на окружающую среду. На урбанизированных территориях происходит непрерывный процесс антропогенного изменения природной среды. Сбросы сточных вод, массовая застройка земель, выбросы загрязняющих веществ, интенсивное пользование природными ресурсами, рост количества автотранспорта и многие другие факторы оказывают негативное воздействие на экологическую ситуацию, поэтому особую значимость приобретает оценка уровней воздействия антропогенных источников на территории городов, с целью выделения локальных максимумов экотоксикации.

1.1 Характеристика ртути

Ртуть (Hg) - элемент побочной подгруппы II группы Периодической системы Д.И. Менделеева, обладающий рядом уникальных свойств (табл. 1). В условиях комнатной температуры и при атмосферном давлении находится в жидком состоянии. В твердом состоянии ртуть достаточно ковкая и приобретает белый цвет. Hg единственный элемент, если не брать во внимание благородные газы, который образует одноатомные пары при комнатной температуре, являющиеся ядовитыми, несущие опасность вызвать ртутное отравление. Еще одной особенностью металлической ртути является способность испаряться с высокой скоростью через слои воды и различных жидкостей (например, бензол, глицерин или парафиновое масло,) [4, 10, 20, 24, 29, 44].

Таблица 1 – Физико-химические свойства ртути

Атомный номер	80
Атомная масса	200,59
Изотопы: стабильные	196, 198–202, 204
нестабильные	191–195, 197, 199, 203, 205
Температура плавления, °С	–38,87
Температура кипения, °С, при 760 мм тр.ст.	356,6
Плотность, г/см ³ , при 20 ⁰ С	13,546
Твердость	жидкость
Содержание в земной коре, %	0,000003 – 0,000009
Степени окисления	+1, +2

Хорошо изучено такое уникальное свойство ртути как – способность растворять многие металлы с попутным образованием соединений и сплавов, называемых амальгамами. Как правило, амальгамы образуются даже при простом контакте ртути с металлами. С непревзойденной легкостью образуется амальгама золота. Метод амальгамирования приспособили для добычи золота и серебра во многих странах, однако добыча влечет за собой сильнейшее отравление рабочих и окружающей среды [20, 29]. Некоторые металлы не образуют амальгам (кобальт, платина, никель), железо в компактной форме также не образует амальгамы, поэтому ртуть можно перевозить в стальных сосудах.

За счет ряда уникальных свойств ртуть нашла широкое применение во многих областях промышленности, медицины, сельском хозяйстве, являющиеся потенциальными источниками ртутного загрязнения окружающей среды.

Токсикологические свойства ртути

Ртуть и ее соединения обладают чрезвычайной токсичностью за счет чего они отнесены к первому классу опасности. Основными путями поступления и воздействия ртути на человека: вдыхание паров металлической ртути, ее летучих соединений или аэрозолей, поступление с продуктами питания [20, 29, 38, 60].

Подразделяются отравления ртутью на очень острые, которые связывают с аварийными ситуациями и существенными нарушениями

техники безопасности, и на хронические, возникающие у сотрудников научно-исследовательских учреждений и аналитических лабораторий, которые в течение всего рабочего дня находятся в условиях невысоких концентраций паров ртути в воздухе [20, 29, 38].

При вдыхании ртуть попадает в кровь, частично связывается с белками и форменными элементами. Органы депонирования ртути: ЦНС, печень и почки, в меньшей степени: щитовидная железа, сердечная мышца и кишечник. Более продолжительное время ртуть находится в ЦНС и печени, почки же относительно быстро освобождаются от ртути [5, 21, 31, 32, 34, 55].

Острые отравления ртутью способны проявиться даже через 35 суток, характеризуясь симптомами воспаления верхних дыхательных путей (ринит, трахеит, бронхит), поражения слизистой оболочки полости рта, зачастую сопровождающиеся язвенными процессами, нарушений нервной системы, и впоследствии возникают серьезные поражения почек и кишечника. Для симптомов острого отравления характерны: медно-красная окраска слизистых оболочек рта и глотки, металлический привкус во рту, сильная слабость, боли в ЖКТ, рвота с кровью. Деятельность почек нарушена вплоть до олигурии, в крови наблюдаются повышения содержания остаточного азота. Смертельный исход возможен даже в первые дни при почечной, но обычно человек после отравления погибает на 20 – 30-е сутки [5, 21, 31, 55].

К ртутьорганическим соединениям, обладающим чрезвычайной токсичностью, относятся: гранозан, фенилмеркурацетат, церезаны, мертиолат и ряд других соединений. Они относительно летучи и являются сильнейшими ядами, провоцирующими болезни растений и всех теплокровных животных, поэтому в большинстве стран их применение строго запрещено. При поступлении в природную среду ртутьорганические пестициды разлагаются, попутно образуя металлическую ртуть и различные летучие компоненты [20, 29, 38].

Метилртуть обладает очень высокой токсичностью, которая обусловлена ее липидорастворимостью, позволяющей беспрепятственно

проходить через биологические мембраны и накапливаться в жизненно важных органах, негативно влияя на их функционирование. Также метилртуть из-за своей высокой биодоступности способна накапливаться в биологических объектах до очень высоких концентраций. Помимо прочего, металлическая и атмосферная ртуть, и другие ее соединения с легкостью превращаются в метилртуть при взаимодействии с органическим веществом.

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и допустимые остаточные количества (ДОК) ртути и ее соединений в различных средах установлены в нормативных документах (Таблица 2) [29].

Таблица 2 – Предельно-допустимые концентрации (ПДК) ртути

Объект	Единицы измерения	Нормативы
Воздух рабочей зоны (ПДК)	мкг/м ³	
среднесменная		5
максимальная разовая		10
атмосферный воздух населенных мест		0,3
Вода водоемов	мг/кг	
хоз.-питьевого назначения		0,5
рыбохозяйственных		0,01
морских		0,1
Почвы	мг/кг	
ПДК		2,1
Показатели вредности*:		
• транслокационный		2,1
• миграционный водный		33,3
• миграционный воздушный		2,5
• общесанитарный		5
Пищевые продукты (ДОК)	мг/кг (мг/л)	
рыба		0,5
мясо		0,03
молоко и молочные продукты		0,005
зерно продовольственное		0,03
хлеб и хлебопродукты		0,015
овощи		0,02
фрукты		0,01
соки		0,02
напитки		0,005

Экогеохимия ртути

Поступая в атмосферу из различных источников, под действием солнечной радиации и в присутствии галогенов ртуть подвергается разным превращениям. Установлено, что над материками содержание ртути выше, чем над океаном, и она находится как в газовой, так и в аэрозольной фазе,

примечательно, что в воздухе материков на газовую составляющую приходится около 60%, неорганическая ионная форма ртути составляет 19% , метилированная и аэрозоли 15% , над океаном приходится до 80%, на аэрозоли и диметилртуть по 10%.

Поскольку ртуть обладает высоким коэффициентом водной миграции, ее относят к гидрофильным элементам. Содержание ртути в водных объектах зависит от количества органического вещества, кислотно-щелочного баланса среды, размера осадков, скорости их выпадения. В воде ртуть содержится в трех окисленных состояниях – Hg(0), Hg(I) и Hg(II), третья образует гидрокомплексы даже при низких показателях pH. Наибольшая часть ртути находится в составе взвешенных частиц и в виде метилртути, которая может формироваться как химическим, так и микробиологическим путем.

Ртуть содержится в почве в зависимости от уровня органики, железа и серы. Интересной особенностью нахождения ртути в системе субстрат-почва-раствор-растение выявлено нахождение ее в состоянии подвижного равновесия. Прочные слабо подвижные соединения ртути образуются при условии высоких температур и влажности почв.

Накопление и миграция ртути в окружающей среде является на сегодняшний день одной из острейших проблем экологии. На ртутных месторождениях установлены максимальные концентрации паров. Достаточно большое количество ртути поступает в окружающую среду при сжигании угля, природного газа и нефти, при переработке руд цветных и благородных металлов, горючих сланцев, в результате деятельности промышленных предприятий. Попадая в атмосферу ртуть, выпадает на подстилающую поверхность, создавая особый тип техногенных почв. Поверхностные воды также загрязнены ртутью в метилированной форме и менее устойчивых органических комплексах [20, 29].

Природные источники загрязнения ртутью

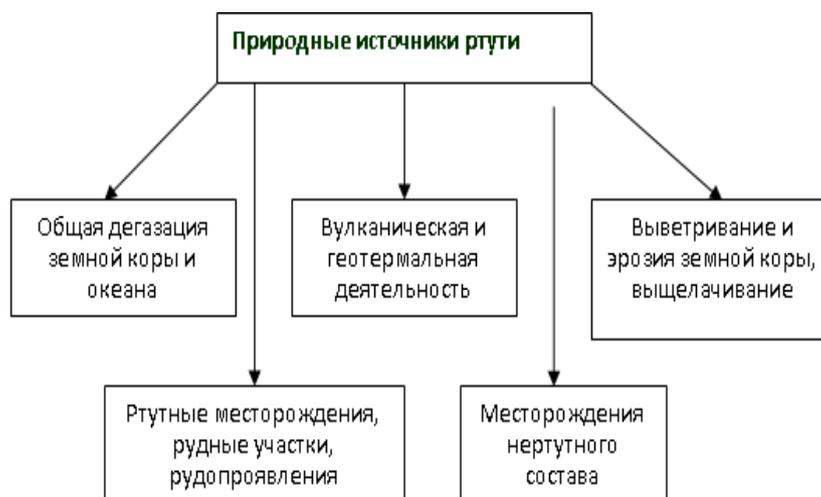


Рисунок 1 – Основные источники поступления ртути в окружающую среду [68]

Антропогенные источники загрязнения ртутью



Рисунок 2 – Основные источники поступления ртути в окружающую среду [68]

В наше время остро встала проблема ртутного загрязнения в районах действия крупных и мощных источников ртути – горнодобывающих и металлургических комплексов, перерабатывающих ртутные и ртутьсодержащие руды, химических предприятий, использующих значительное количество ртути в технологических циклах (например, хлор-щелочное производство) [22, 24].

1.2 Использование мхов для определения содержания ртути в окружающей среде

Растения и целые растительные сообщества, формирующиеся в условиях комплексного влияния разнообразных экологических факторов, своим строением и особенностями структуры отвечают суммарному воздействию факторов среды обитания. Возможности растений как биоиндикаторов издавна используются в решении многих прикладных задач.

Биоиндикация - это использование доступных биологических объектов в целях определения компонентов менее легко наблюдаемых. В качестве биоиндикаторов выступают тест-организмы, при помощи которых выявляют стрессовые воздействия на окружающую среду. Под стрессом принято понимать состояние критической нагрузки, проявляющейся в виде специфического синдрома, сложенный из всех неспецифически вызванных изменений внутри биосистемы [28]. Биоиндикаторы позволяют определять с какой скоростью происходят изменения перемещения и места скопления в экосистемах различных токсикантов, на основе наблюдений за реакциями биоиндикаторов делаются выводы о степени опасности для человека и биоты конкретных видов веществ или их сочетаний. Для получения объективной оценки состояния экосистем наибольший интерес представляют тест-организмы, способные реагировать на целый комплекс загрязнителей. В качестве таких биоиндикаторов более предпочтительны долгоживущие, одновозрастные и генетически однородные организмы, отбор проб которых

легок и недолговременен в тестировании, биотесты должны обеспечивать получение предельно точных результатов [8].

На сегодняшний день разработано большое количество методов оценки состояния окружающей среды с помощью растений. Широкое применение многих параметров развития живых организмов начиная от молекулярного и вплоть до ландшафтного уровня. Учитываются физиологические, биохимические, анатомо – морфологические изменения, популяционные и видовые особенности растений, флористический состав и структура сообществ, границы и пространственное распределение фитоценозов.

Мхи, отличающиеся особенным строением и ареалом произрастания, являются отличными биоиндикаторами широко спектра загрязнителей. Они способны накапливать в себе тяжелые металлы и редкоземельные элементы. Такая способность является оптимальной для исследований урбанизированных территорий с конкретными источниками выбросов загрязняющих веществ.

По данным на 2013 год в базе данных The Plant List насчитывается 177 семейств мохообразных [62].

Мохообразные представляют собой достаточно крупный отдел растительного царства, насчитывающий более 18 тысяч видов. Мхи являются представителями высших, или как еще можно сказать - побеговых растений. Их основное отличие от низших растений таких как, водоросли и лишайники, в том, что большинство мохообразных представлено побегом, состоящим из листьев, стебля. Помимо своего строения, мохообразные имеют многочисленные микроскопические особенности, в том числе наличие своеобразно устроенных гаметангиев: женских-архегониев и мужских-антеридиев. Еще одно из характерных отличий мхов от большинства высших растений – отсутствие корней.

Пространственное распределение и другие особенности жизни мхов определяются рядом жизнеспособствующих факторов окружающей среды (влажность, освещенность, температура, химический и механический состав

субстрата и др.). Для своего существования мохообразным необходимо достаточное количество света.

Большое количество видов мохообразных успешно растут и развиваются в широких диапазонах освещенности, но при недостаточном освещении такие растения нередко имеют более бледную окраску и более вытянутые побеги. Зависимость мохообразных от продолжительности освещения еще недостаточно изучена; во всяком случае, многие виды успешно растут и спороносят как в условиях непрерывного полярного дня, так и в условиях ежесуточного чередования света и темноты в умеренных широтах.

Жизнь мохообразных в гораздо большей степени, чем жизнь других высших растений, зависит от капельножидкой воды, выпадающей непосредственно из атмосферы, — дождя, тумана, росы, а также от содержащихся в атмосфере водяных паров. Объясняется это тем, что в цикле развития мохообразных, как уже отмечалось, преобладает слоевищный или листостебельный гаметофит, на котором паразитирует спорогоний, не имеющий корней и снабженный только ризоидами, поэтому он не способен, всасывать воду из глубоко лежащих горизонтов почвы. С помощью ризоидов гаметофит мохообразных получает воду из самого верхнего слоя почвы, но основная масса воды обычно поступает при впитывании ее всей поверхностью своего тела. Капельножидкая вода необходима мохообразным также для оплодотворения.

Мохообразные успешно осваивают места с постоянным избыточным увлажнением (например, канавы с водой, берега озер и ручьев), причем выработанные ими приспособления позволяют мохообразным в условиях холодного и умеренного климата зачастую вытеснять большинство высших растений, произрастающих в этих местах (обычно к таким растениям относят не выносящих низких температур и вымокания одновременно). Мхи, обладающие своеобразным внутренним строением и химизмом, имеют

способность накапливать избыточную влагу и, выделяя и подкисляя ее, негативно влияют на живущие рядом растения.

Смогли мхи приспособиться к жизни и на субстратах, не имеющих свободной воды. Например, на коре деревьев, камнях или скалах. Присоединяясь ризоидами к субстрату, мохообразные всасывают необходимую влагу из атмосферы, а отсутствие осадков приводит к сильному высыханию и потере практически всей содержащейся в них воды. После выпадения дождя или росы растения достаточно быстро впитывают полученную воду, оживают и продолжают свое комфортное существование.

Мохообразные обладают чуткой реакцией на присутствие в воздухе вредных примесей. Отчасти такая реакция связана с отсутствием у них высокоспециализированных покровных тканей и неспособностью большинства мохообразных ежегодно обновлять свой фотосинтезирующий аппарат. Также острота реакции связана и с небольшой массой тела мхов. Однако главную роль в их чувствительности к вредным примесям играют свойства протоплазмы, о чем свидетельствует широкое распространение мохообразных в черте крупных городов, антропогенная нагрузка которых зачастую высокая и вследствие этого атмосфера сильно загрязнена вредными примесями.

Метод мхов – биоиндикаторов используется на регулярной основе в течение последних 30 лет Скандинавскими странами для мониторинга выпадения тяжелых металлов на больших территориях, в последнее же время и страны Западной Европы используют мхи в целях мониторинга окружающей среды. В России данный метод изначально приобрел известность только в промышленных районах, но в настоящее время мхи применяются в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды повсеместно.

Высокое соотношение поверхности мхов к их весу, а также недостаточно развитый поверхностный защитный слой при высокой способности тканей поглощать катионы, делают их практически

неспособными к защите от проникновения токсических примесей из атмосферного воздуха. Эффект аккумуляции ртути мхами достигается за счет большой сорбционной поверхности на единицу массы [10].

На территории России первые сведения о накопительной специфике химических элементов мхами встречаются в работах Л.В. Бардунова, который в ходе своих исследований установил, что из-за отсутствия покровных тканей, мхи впитывают попавшую на их поверхность влагу всей поверхностью тела [6]. Содержащиеся в воде ионы элементов, мелкие частички минералов и различных металлов также оказываются внутри мхов.

Интересные исследования методом мониторинга атмосферных выпадений тяжелых металлов с помощью мхов были сделаны в Тульской области. Область по сей день остается одной из самых промышленно развитых и экономически значимых регионов Центральной России. Целью исследования являлось установление уровня атмосферных выпадений тяжелых металлов и выявление основных источников их выбросов. В результате проводился факторный анализ, который показал, что мхи активно накапливают в себя выбросы от угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности, имеет место быть и растительный фактор (содержание элементов необходимых для процессов обеспечения жизнедеятельности). Чем дальше от антропогенных источников были отобраны пробы, тем «чище» они оказывались [17].

В Европе проводились масштабные исследования содержания 10 тяжелых металлов в естественно растущих мхах. Нацелено исследование на пространственное распределение и установлении концентрации этих металлов. Исследования проводились на протяжении десяти лет (1990– 2000 гг.). За это время были установлены и проанализированы временные тенденции, характерные для этих металлов в различных странах. За изучаемый период концентрация кадмия и свинца во мхах пошла на спад; отмечается, что для свинца концентрация была выше, чем для кадмия. Для установления тенденций изменения концентрации во времени и пространстве

для ртути данных пяти лет (1990 – 1995 гг.) оказалось недостаточно, но в период 1995 – 2000 гг. концентрация ртути в странах Европы изменилась, что незамедлительно отразилось на мхах [59].

В Прибайкальском крае исследованы в качестве биоиндикаторов мхи видов – *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens*. Результаты исследования показали, что эти виды мхов оптимально подходят для биоиндикации и биомониторинга, так как они способны накапливать в себе большое количество химических элементов, например, тяжелые металлы всех классов опасности и редкоземельные металлы [35].

Широко распространены эпифитные (древесные) мхи, у которых в качестве субстрата выступают другие растения, но в большинстве случаев это деревья. В.Л. Кальберсоном для описания деревьев, являющихся субстратом для мхов, был введен термин «деревья-хозяева» [63]. Эпифитные (древесные) мхи не являются растениями паразитами и не питаются за счет «хозяина», так как используют деревья лишь в качестве места прикрепления, следовательно, загрязнения, аккумулированные в почве не должны на них влиять. Эпифитные мхи используют гумус, накопленный в трещинах коры деревьев, в качестве источника питания [6].

Так в 2008 году Томским Политехническим Университетом совместно с Томским Государственным Университетом был разработан метод контроля состояния атмосферы основанный на использовании эпифитных мхов. Для исследования содержания элементного состава в мхах применялся нейтронно-активационный анализ. Отбор проб производился на территории Алтайского края, Тюменской и Томской областей. В результате исследований было обнаружено более 30 химических элементов, что подтверждает практическую значимость применения эпифитных мхов как биоиндикаторов. Установлено что на распределение и концентрацию элементов на поверхности мхов влияет место отбора пробы, климатические особенности, роза ветров и некоторые свойства почв [65].

В 2012 году были получены данные по содержанию ртути в Томской области с использованием мхов в качестве биоиндикаторов [61].

В 2013 году Роговой Н.С. проводились исследования, в результате которых установлено, что с помощью метода мхов-биоиндикаторов фоновая территория при максимально возможном удалении от источника загрязнения (не менее 100 км для территорий с населением 200-400 тыс. человек) должна находиться в одной подзоне с исследуемой территорией, а образцы должны отбираться в одном фитоценозе. Отслеживание динамики загрязнения атмосферного воздуха в Томске показывает рост концентраций тяжелых металлов за последние несколько лет, что вполне объяснимо ростом количества автотранспорта, застройкой пустых территорий и введением в работу новых промышленных предприятий [53].

В 2015 году на территории Томской области проводились исследования направленные на установление содержания ртути в мхах. В результате проделанной работы установлено, что неоднородность в содержании Hg в целом не зависит от концентрации поллютанта в субстрате [37].

Во время ряда исследований была выявлена тенденция увеличения концентраций химических элементов во мхах по мере перемещения с севера на юг. Данную закономерность необходимо учитывать при выборе фоновых территорий [54].

2 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Г.ТОМСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Томск – небольшой город в России, расположенный в юго-восточной части Западной Сибири на берегу реки Томь. Является административным центром одноимённых области и района (Рисунок 1). Сибирь – это историческая и географическая область в пределах азиатской части России, заселение которой происходило еще в каменном веке. В природном отношении выделяют две значимые части: Западная Сибирь и Восточная Сибирь. Западная Сибирь — часть Сибири, находящаяся между Уральскими горами на западе и руслом реки Енисей на востоке. Площадь региона составляет около двух с половиной тысяч км² (15 % территории России). Население российской части Западной Сибири составляет более 14 миллионов жителей.

Западная Сибирь простирается на две с половиной тысячи километров от Северного Ледовитого океана до возвышенностей Казахского мелкосопочника и на тысячу девятьсот километров от гор Урала до Енисея. Наибольшая часть площади Западной Сибири расположена в пределах Западно – Сибирской равнины, которая состоит из двух плоских чашеобразных заболоченных впадин, разделенных повышенными до 175 – 200 м Сибирскими Увалами. На юго-востоке Западно-Сибирская равнина, постепенно повышаясь, сменяется предгорьями Алтая, и Горной Шории. Население города Томска на 2018 год составляло 574 002 человека, в городском округе насчитывается около 600 тысяч человек.

Томск признан старейшим в Сибири образовательным и инновационным центром. В 2017 году город вошел в топ-500 самых инновационных городов мира, по данным ежегодного Глобального рейтинга инновационных городов мира Innovation Cities.

На 2018 год в городе насчитывается более трехсот инновационных предприятий в различных сферах таких как: строительство, энергетика, промышленность.

В Томске потребление электроэнергии во много раз превышает выработку. Основной объём электрической и тепловой энергии вырабатывают ГРЭС-2 (281 МВт, 755 Гкал/час) и ТЭЦ-3 (140 МВт, 670 Гкал/час), принадлежащие ОАО «ТГК-11», а также использовалась тепловая энергия, вырабатываемая в городе-спутнике ЗАТО Северск. С каждым годом наблюдается увеличение малого бизнеса, более двухсот компаний развивается в IT сфере.

Также в Томске расположена штаб-квартира КДВ групп, компания которая входит в рейтинг самых крупных частных компаний России.

Весь Томский район является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной продукции в регионе.

Агропромышленный комплекс района представлен 14 сельскохозяйственными организациями (это около 30 % всех сельскохозяйственных организаций области), более 50 фермерских хозяйств и более 5 тысяч ЛПХ [35].

В Томске, в окрестностях и находящемся вблизи г. Северске функционирует большое количество промышленных предприятий (выбросы ЗВ в атмосферу поступают от более 70 предприятий), что оказывает существенное неблагоприятное влияние на окружающую среду и приводит к формированию неблагоприятной экологической ситуации [36].



Рисунок 1 – Томский район на карте Томской области [103]

2.1 Геологическое строение

Томский район расположен на сочленении двух структур -Колывань-Томской складчатой зоны и Кузнецкого Алатау. Обильное разнообразие литологических разностей горных пород, множественные разломы глубинного заложения, проявления метаморфических процессов, магматизма и гидротермальной деятельности определяют крупные запасы полезных ископаемых [9, 25].

Томск и его окрестности характеризуются расчленённым рельефом, сформированным в результате блоковых неотектонических движений и водной эрозии.

В геологическом строении района имеются разновозрастные и разнообразные докембрийские и фанерозойские осадочные, магматические и метаморфические породы. Частично они выходят на дневную поверхность, но большей частью перекрыты рыхлыми молодыми отложениями. Данные состава и строения получены по результатам выполнения буровых работ.

Южные окрестности Томского района во времена девонского периода были расчленены. Половину палеозойской эры территория была покрыта морем, оставившим после себя следы в виде глинистых сланцев и песчаников. Под конец эпохи нижнего карбона на территории Томского района начинают проявляться первые фазы герцинской складчатости, под влиянием которой море уходит на юго-запад, появляются первые элементы Колывань-Томских складок.

К началу кайнозойской эры территория Томского района постепенно превращается в равнину [26].

Тектонические движения в неогене активизировались, что в последствии привело к формированию Томского выступа.

В голоцене, продолжающемся по настоящее время, происходит подъем территории, особенно интенсивно правобережья р. Томи, расчленение равнины гидросетью, денудация водоразделов и формирование комплекса террасовых отложений древней речной сети [42, 56].

В тектоническом отношении территория принадлежит складчатому обрамлению Западно – Сибирской плиты, по в то же время носит признаки типичной платформенной области. Склон равнины представлен двухъярусным строением. Складчатый фундамент сложен породами палеозоя и протерозоя, а платформенный чехол - отложениями мезозоя-кайнозоя [14, 56].

Современное звено четвертичной системы представлено песчано-суглинистыми отложениями пойм и болотными (отложениями (торф, илы). В разрезах террас и пойм можно пронаблюдать линзы супесей, торфа, темно-серых иловатых глин и горизонты погребенных почв. Террасовые отложения сформировались в течение позднего плейстоцена, а пойменные - в голоцене [14, 18, 42, 56].

2.2 Полезные ископаемые

Томский район богат на полезные ископаемые. Большое распространение имеют месторождения угля, строительных песков, керамической и кирпичной глины; месторождения редкоземельных металлов таких как цинк и сурьма, титана, бокситов, золота и циркония; крупные месторождения песчано – гравийной смеси и минеральных вод.

На территории района расположено и изучаемо 137 месторождений общераспространенных полезных ископаемых и около 15 месторождений полезных ископаемых других видов. В наше время эксплуатации подлежат 57 месторождение. Крупные месторождения песчано – гравийной смеси разведаны на реках: Обь, Томь и Яя. Небольшое количество месторождений строительного камня сосредоточены на юге района. Строительные пески находятся в долинах р. Оби, Томи и их притоков.

В районе изведано 79 месторождений торфа. Разрабатываемый фонд включает в себя 11 месторождений. В настоящее время общий запас торфа составляет более 200 млн.т.

Также на территориях Томского района имеются запасы углекислых, содовых и хлоридно – натриевых вод [50].

2.3 Рельеф

Территорию Томского района можно разделить на две условные части, исходя из их характера поверхности. Правобережье реки Томь представлено расчлененной, наклонной, древней озерно-аллювиальной равниной, которая покрывает неглубоко залегающий палеозойский фундамент. Томь-Яйское междуречье является наиболее возвышенной точкой, в него заходят отроги Кузнецкого Алтау. Именно здесь расположена наивысшая точка Томской области (264 м).

Левобережье реки Томи представляет плоскую, слабо расчлененную озерно-аккумулятивную равнину с неглубоким залеганием пород фундамента на юге и резким погружением в северном направлении. Поверхность водораздела отличается общим уклоном с юга на север и характеризуется дюнно- грядовыми и полого - волнистыми формами микрорельефа. На левобережье развита речная пойма, ширина которой относительно ровная с большим количеством протоков и стариц.

На правом высоком берегу Томи наблюдаются наибольшие абсолютные отметки поверхности, достигающие в среднем до двухсот метров. К пойме приурочены минимальные отметки поверхности, находящиеся в диапазоне от 65 до 75 метров. В долинах Томи и ее притоков выделены пойма и три надпойменных террасы. В основном на левобережье реки распространены отложения второй надпойменной террасы, абсолютные отметки которой составляют от 90 до 120 метров. Пойма имеет отметки 75 – 80 метров, а первая надпойменная терраса 80 – 90.

2.4 Климатические особенности

Томскому району характерен климат континентально-циклонический с достаточно продолжительной холодной зимой и относительно коротким жарким летом. В процессах циркуляции участвуют умеренные и

арктические воздушные массы, тропические – летом. Возникающие здесь и перемещающиеся циклоны, и антициклоны имеют очень большое значение в общей циркуляции атмосферы (Рисунок 2), (Рисунок 3).

Ветровой режим представлен среднегодовой скоростью равной 3,1 м/с в городе Томске. В зимние месяцы наблюдаются наибольшие скорости ветра, наименьшие приходятся на летний период. В среднем число дней с сильными ветрами составляет 20 и наибольшее число таких дней отмечается именно в зимнее время года. Южные ветра являются преобладающими. Повторяемость южных ветров особенно велика зимой, а в летние месяцы увеличивается повторяемость северных.

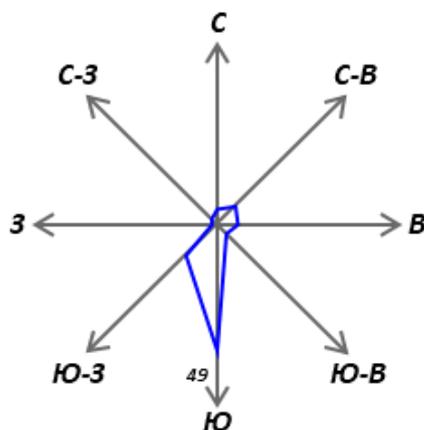


Рисунок 2 – Роза ветров г. Томска. Январь [104]

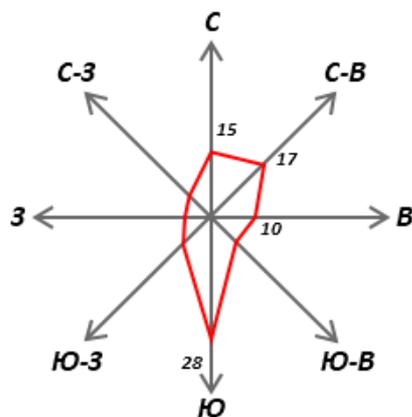


Рисунок 3 – Роза ветров г. Томска. Июль [104]

Среднегодовая температура, устанавливаемая за несколько десятков лет наблюдений на метеостанции г. Томска, составляет - 0,6° С. Летом максимальные температуры достигают 36 ° С и приходятся в основном на июль, минимальные температуры наиболее характерны для декабря и января

и достигают до - 55 ° С (Таблица 3). Средняя продолжительность безморозного периода составляет около 115 дней.

Таблица 3 – Температура воздуха г. Томска по данным метеостанции

Месяц	Абсолют. минимум	Средний минимум	Средняя	Средний максимум	Абсолют. максимум
январь	-55.0 (1931)	-20.9	-17.1	-13.0	3.7 (1948)
февраль	-51.3 (1951)	-18.9	-14.7	-9.6	7.5 (2016)
март	-42.4 (1892)	-12.0	-7.0	-1.1	17.7 (2009)
апрель	-31.1 (1964)	-3.4	1.3	7.0	29.5 (2017)
май	-17.5 (1898)	4.7	10.4	17.5	34.4 (2004)
июнь	-3.5 (1961)	10.5	15.9	22.3	34.7 (1931)
июль	1.5 (1945)	13.7	18.7	24.8	35.6 (2014)
август	-1.6 (1902)	11.0	15.7	21.7	33.8 (1998)
сентябрь	-8.1 (1955)	5.1	9.0	14.4	31.7 (2010)
октябрь	-29.1 (1940)	-1.4	1.7	6.0	25.1 (1928)
ноябрь	-48.3 (1952)	-11.4	-8.3	-4.7	11.6 (2006)
декабрь	-50.0 (1938)	-18.9	-15.1	-11.1	6.5 (1975)
год	-55.0 (1931)	-3.5	0.9	6.2	35.6 (2014)

Глубина промерзания почвы в среднем равна 82 см, на заселенных участках наблюдается значительно меньшее промерзание. Средняя глубина промерзания почвы на открытых участках – до 3 метров, а в лесу – 0,7 метров.

Среднегодовая сумма осадков составляет 585 мм. Распределение в годовом цикле неравномерное. Наименьшее количество осадков приходится на зимний период -15%, чуть больше на осенний и осенний – 18/27 %, и самое большое количество отмечается летом – 40%.

Томский район относится к зоне умеренного увлажнения с отдельно заболоченными участками с избыточным увлажнением. Май является самым сухим месяцем, а ноябрь самым влажным. В летние месяцы происходит наибольшее испарение. Осадки превышают величину испарений, что создает благоприятные условия для формирования естественных ресурсов подземных вод [57].

2.5 Поверхностные воды

По территории Томского района протекает 114 рек общая протяжённость которых составляет приблизительно 2193 км, подавляющее большинство (около 94% от общего числа) – это ручьи и реки длиной менее 10 км.

Район славится как наиболее крупный поставщик подземных вод, так как сосредоточено 60% эксплуатационных запасов подземных вод области и на долю района приходится 75% всей извлекаемой воды. По прогнозным данным ресурсы подземных вод составляют в Томском районе 2552,3 тыс. м³/сут., эксплуатационные запасы – 516,91 тыс. м³/сут. Так как степень разведанности по сей день остается на низком уровне, прогнозные показатели считаются приблизительными. На территории района эксплуатируется 5 месторождения подземных вод. Самое крупное из них – Томское месторождение, расположенное на территории Обь – Томское междуречья.

Гидросеть представлена наиболее крупными: рекой Томь, Ушайкой и её мелкими притоками, Большой Киргизкой, Басандайкой, протекающая в левобережной части города Кисловка, Итатка, Чёрная и другие. Также на территории района имеются озера и родники.

Река Томь является основной водосборной артерией района. Её Длина составляет 839 км, площадь водосбора - 59490 км². Направление течения – северо-западное. Правый берег реки достаточно крутой с большим количеством обнаженных коренных пород палеозоя, перекрытых рыхлыми отложениями; левый же берег - пологий. Среднегодовая амплитуда колебаний уровня 759 см. Среднегодовой расход реки Томи равен 1092 м³/с. Во второй половине октября можно уже наблюдать появление первых ледовых образований на р. Томь. Средняя продолжительность ледостава составляет около 164 дней.

Режим рек находится в полном соответствии с режимом грунтовых вод и в большой зависимости от выпадающих атмосферных осадков.

Поверхностные воды в бассейне считаются гидрокарбонатно-кальциевыми с минерализацией 50-100 мг/л весной и до 200 мг/л зимой [50].

Химический состав атмосферных осадков района формируется за счет местной или трансграничной миграции атмосферных аэрозолей, переносимых со стороны прилегающих регионов. За счет того, что количество частиц совсем незначительное, низкая минерализация атмосферных осадков обязана взаимодействию воды с атмосферными газами.

Количество осадков превышает испарения, обедненность почв и почвообразующих отложений района растворимыми соединениями приводит к малой минерализации речных вод (0,2-0,5 г/л) [27].

Хозяйственно-питьевое и производственное водоснабжение являются основными потребителями воды.

На территории района ежегодно используется до 45 млн. м³ поверхностных вод, наибольшее количество их забирается административным центром района – г. Томском [50].

2.6 Почвенно-растительный покров

Территория района представлена, в основном, серыми лесными почвами. Три типа серых лесных почв (светло-серые, серые и темно-серые) формируются на усилено дренированных участках под пологом березово-осиновых и смешанных лесов. Данные почвы оподзолены, а также встречаются серые лесные почвы со вторым гумусовым горизонтом. Серые лесные преимущественно обладают суглинисто-механическим составом.

В центральных частях междуречий, в понижениях рельефа под заболоченными лесами можно встретить полугидроморфные почвы. Наибольшее распространение имеют болотно-подзолистые почвы. Благодаря постоянному избыточному увлажнению происходит заболачивание почв, сопровождающееся оторфовыванием верхних и оглеением нижних горизонтов. Характерными чертами болотно-подзолистых почв являются малогумусность и кислая реакция среды.

Гидроморфные почвы встречаются реже. Для их формирования необходимо избыточное увлажнение под специфической влаголюбивой растительностью.

Почвенный покров напрямую зависит от ряда условий: климатические особенности, рельеф, растительный покров, состав грунтов, глубина залегания грунтовых вод. На поймах рек выделяют аллювиальные, болотные, дерновые, дерново-глеевые и дерново-подзолистые почвы.

Томский район входят в состав подтаежной подзоны, являющаяся переходной от темнохвойной тайги и сосновых лесов к лесным и березовым лугам.

По типологическому составу на территории лесов преобладают разнотравные типы насаждений, на них приходится 83% лесопокрытой площади. Насаждения с преобладанием сосны составляют около 1112 га, остальная площадь представлена мелколиственными насаждениями (березняки и осинники). На территории города кедровые насаждения занимают более 60 га. Кедровые разнотравные леса составляют 54 га, мшистые на 13,5 га. Темнохвойная тайга сохраняется здесь островами, много открытых участков, свободных от леса.

В структуре Томского озеленения преобладают 37 видов. Самым распространённым из них отмечена береза бородавчатая. Наиболее часто для озеленения города используют: береза белая, тополь бальзамический и черный; клен ясенелистный; ель сибирская; сосна лесная и сибирская и другие.

В формировании почвенно-растительного покрова наибольшую роль играет антропогенный фактор. Почвы и растительность города не соответствуют зональным. В большей части территории города асфальтированные и застроенные участки, что приводит к антропогенной модификации покрова [16].

3 ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Г.ТОМСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Геоэкологическая характеристика города и его окрестностей описывается как процесс, происходивший с Томском на протяжении всего времени существования города и происходящий в нём по сей день.

Характерной чертой промышленных населенных пунктов является определенный ряд проблем. Разнообразные формы воздействия строительства и эксплуатации объектов в городе на абиотические среды: атмосфера, гидросфера и литосфера связаны с определенными особенностями, присущими крупным городам, и основными из них являются:

- внутригородское гидротехническое строительство, результатами которого является появление новых водоемов, водостоков;
- наличие застроек различной высоты гражданского и промышленного назначения;
- строительство объектов под землей на разных уровнях – переходы, подземные гаражи;
- инженерные сети различной локации (наземные, надземные, подземные), такие как кабели, трубопроводы, теплотрассы.
- различные по площади, весу, условиям эксплуатации виды нагрузок на грунты;
- рост и развитие промышленных предприятий, фабрик, что оказывает негативное влияние на природные среды и здоровье населения;
- изменения рельефа, являющиеся последствиями застроек новых районов.

Представленные выше пункты описывают актуальность и остроту проблем, связанных с геоэкологической обстановкой в Томске и его окрестностях, а также на необходимость изучения данного вопроса.

3.1 Источники загрязнения окружающей среды

Город Томск является один из крупнейших промышленных и научных центров Западной Сибири. В городе отсутствует четкое разделение территории на промышленные и жилые зоны, что естественно приводит к произвольному нарушению границ санитарно-защитных зон некоторых предприятий (размещенных в жилых зонах).

В черте города функционируют различные по специфике предприятия: «Сибэлектромотор», ОАО «Томский электромеханический завод», ОАО «Манотомь», «Сибкабель»; приборный, радиотехнический и электроламповый заводы; предприятия топливно-энергетического комплекса (ГРЭС 2, ТЭЦ 3); химические предприятия ООО «Томскнефтехим», «Томский завод резиновой обуви»; фармацевтические «Фармстандарт Томскхимфарм», НПО «Вирион»; деревообрабатывающие фабрики, производства стройматериалов ООО «Континенть», ЗАО «Карьероуправление» и другие; предприятия и фабрики пищевой промышленности (Томские Мельницы, птицефабрика Томская и др.). Результатом деятельности этих предприятий и комплексов является загрязнение практически всех компонентов природной среды. Пылевое загрязнение отмечается как основной загрязняющий фактор. Значительное влияние имеет деятельность предприятий топливно-энергетического комплекса такие как ТЭЦ и ГРЭС-2, однако стоит отметить, что предприятия по деревообработке и производству стройматериалов также вносят вклад в загрязнение атмосферного воздуха. Характерными выбросами этих предприятий являются твердые частицы золы и угля (аэрозолей), газообразные соединения элементов.

Комплекс крупных промышленных предприятий, расположенных ближе к северу от г. Томска именуется как «Северный промышленный узел» (СПУ), оказывающий мощное негативное воздействие на состояние окружающей среды г. Томска и окрестностей. Немаловажную роль приобретает направление ветра (в первую очередь, изменения с

главенствующего северо-восточного направления) оказывая влияние на геоэкологическую обстановку за счет переноса загрязняющих веществ. В проведенных ранее исследованиях были установлены наиболее часто встречаемые загрязнители: - природные минеральные и биогенные частицы, - частички сажи и угля (оксиды Mg и Fe, различные шлаки), - частицы от деревообработки (мельчайшие опилки) и др. Один из важнейших факторов загрязнения - автотранспорт, оказывающий негативное влияние на состояние природной среды. Выбросы от автотранспорта включают в себя и перечень довольно опасных веществ, например, бенз(а)пирен, углеводороды, Co, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr и другие .

Геоэкологическая ситуация, сложившаяся в наиболее крупных районах города, характеризуется комплексным воздействием на геосистемы, которые приводят к загрязнению всех природных сред. В Томске расположено 4155 стационарных источника выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, из них 80% -организованные [69]. Наиболее загрязненными районами на данный момент являются Кировский и Советский, а также промузел ООО «Томскнефтехим».

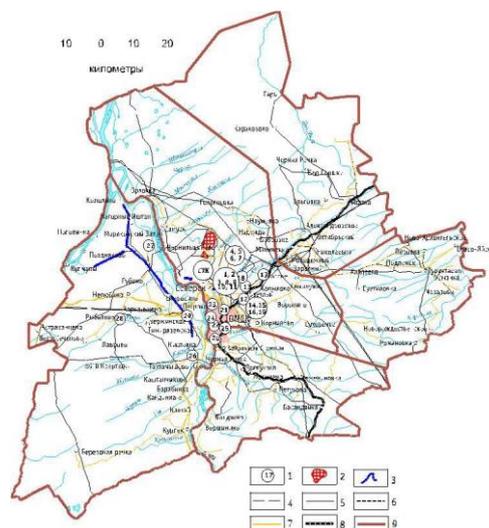


Рисунок 4 – Схема размещения крупных промышленных производств на территории Томского района

Помимо предприятий, расположенных на территории города, а также вблизи него, особую роль играет «СХК», находящийся в ЗАТО Северск. На сегодняшний день Сибирский химически комбинат представляет большую угрозу для окружающей среды. Производство ОАО "СХК" составляют 4 завода по обращению с ядерными материалами: завод разделения изотопов, сублиматный завод, радиохимический завод, химико-металлургический завод и завод "Гидроэнергоснабжения". Сибирский химический комбинат изготавливает и реализует высокотехнологичную промышленную продукцию:

- гексафторид урана для обогащения (ГФУ);
- гексафторид обогащенного (до 5%) урана (ОУП) [40].

«СХК» является потенциально опасным производством за счет близкого расположения к населенным пунктам. С начала запуска производства произошло уже более 30 аварий, которые привели к большим выбросам радионуклидов в окружающую среду.

В результате аварии, произошедшей 6 апреля 1993 года в окрестности комбината, образовалась зона радиоактивного загрязнения, вытянутая до 25 км в северо-восточном направлении, площадью около 100 км².

Многолетние исследования геохимических особенностей природных сред по пробам, отобраным в зоне влияния предприятий ядерно-топливного цикла на разном удалении от источников воздействия, позволило выделить ряд геохимических признаков, которые формируются за счет долговременного воздействия предприятий ЯТЦ.

Таковыми признаками являются:

1) Присутствие техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{14}C , ^{90}Sr , ^3H), а также делящихся элементов (^{239}Pu , ^{235}U и др.) и ртути в годовых кольцах деревьев в зоне влияния предприятий ЯТЦ, накопление которых превышает глобальный и региональный уровни в 3 и более раз.

2) Наличие в поверхностных и подземных водах в количествах, которые имеют превышения регионального фона в 2 и более раз трития,

урана, в отдельных точках ^{137}Cs , ^{90}Sr , редкоземельных элементов, фтора, ртути и некоторых других компонентов.

3) Значительные превышения регионального и глобального фона накопления в пылеаэрозольных выпадениях ^{137}Cs , ^{60}Co и ряда специфических элементов (Th,U,Be,Eu и др.).

4) Почвы в зоне влияния предприятий ЯТЦ имеют резкое отличие по величине отношений ^{238}U к ^{235}U , по отношению тория к урану, по наличию значительного количества микровключений «горячих частиц» делящихся элементов (^{239}Pu , ^{235}U и др.), выявляющихся методом осколочной f-радиографии [50].

3.2 Состояние атмосферного воздуха

Согласно закону №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха», под термином атмосферный воздух подразумевается жизненно важный компонент окружающей среды, который представляет собой естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений [51].

Загрязнение воздуха является ключевым фактором, оказывающим негативное воздействие на состояние здоровья населения Томска и его окрестностей.

Повышенный уровень загрязнения воздуха признан одной из главных экологических проблем Томска. Такая ситуация вызвана выбросами от предприятий и передвижными источниками.

Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят выбросы предприятий нефтегазодобывающего комплекса, химической и нефтехимической промышленности, теплоэнергетики, автомобильного и железнодорожного транспорта.

Примечательно, что существенное влияние на рассеивание различных примесей в условиях промышленно развитого города оказывают высота застроек, ширина и направление улиц, зеленые насаждения и водные

объекты, образующие разные формы наземных препятствий воздушному потоку, которые в итоге приводят к возникновению особых метеорологических условий в городе. Вредные вещества, попадающие в атмосферу от антропогенных источников, оседают на поверхности почвы, зданий, растений, вымываются атмосферными осадками, переносятся на значительные расстояния ветром. Все эти процессы напрямую зависят от температуры воздуха, солнечной радиации, атмосферных осадков и ряда других метеорологических факторов.

Весомое влияние в загрязнении атмосферы имеют выхлопные газы автотранспорта, поступающие в приземный слой воздуха и создавая тем самым большую опасность для здоровья населения. Химический состав выбросов зависит от вида и качества топлива, технологии производства, способа сжигания в двигателе и его технического состояния.

Самым значимым стационарным источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в пределах города - Томская ГРЭС-2, расположенная в Советском районе. Также по городу насчитывается 90 котельных, которые принадлежат промышленным предприятиям различных сфер. Выбросы теплоэлектростанций, работающих на угле и мазуте, содержат широчайший перечень газообразных веществ и элементов примесей (Pb, As, Cd, Hg, Se, Be, Co, Cr, Mn, Ni, Sb, редкоземельные элементы и др.), распадаясь и концентрируясь, вызывают отрицательные изменения экологической обстановки [13].

Качество атмосферного воздуха

За качеством атмосферного воздуха в городе осуществляется на основании РД 52.04.667–2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию».

Наблюдения в г. Томске проводятся на 7 стационарных постах Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды

(ГСН) комплексной лабораторией по мониторингу загрязнения окружающей среды Томского ЦГМС – филиал ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Посты мониторинга располагаются в соответствии с местоположением и подразделяются на «городские фоновые», находящиеся в жилых районах, «промышленные», расположенные вблизи крупных источников выбросов и «авто посты», установленные вблизи автомагистралей и в районах с повышенным движением транспорта.

Результатами наблюдений оценивается содержание в воздухе тринадцати веществ: пыль, сернистый ангидрид, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, фенол, сажа, хлористый водород, аммиак, формальдегид, метанол и бенз(а)пирен. Концентрация диоксида серы находится на отметках ниже установленного ПДК. Превышения ПДК в 3-4 раза зафиксированы у диоксида/оксида азота в Кировском районе, но в целом, среднегодовые и максимально разовые концентрации ниже допустимых концентраций. Среднегодовая концентрация взвешенных веществ по городу составила 0,7 ПДК. Наибольшие величины были выявлены в Советском районе. Максимальная концентрация бензапирена наблюдалась в январе и составляла 2,4 ПДК, среднегодовые показатели в пределах нормы. Советский район также отличился и превышениями концентрации оксида углерода. Максимально разовая концентрация в апреле составила 8,2 ПДК.

3.3 Ресурсы и качество подземных вод

В целях обеспечения населения качественной питьевой водой используются ресурсы подземных вод. Для начала в целях обезжелезивания погружными насосами вода выкачивается из артезианских скважин аэраторы, где двухвалентное железо окисляется до трехвалентного и осаждается. На сегодняшний день томский водозабор получает воду из 198 скважин. В состоянии постоянной нагрузки в работе находится 95 скважин. Четырнадцать из них являются контрольными и используются в целях

оценки качества подаваемой воды. В дальнейшем происходит механическое очищение воды разнообразными фильтрами, накопление очищенных вод в специальных резервуарах, обеззараживание гипохлоритом натрия после чего производится максимально строгий контроль качества. На 25 водопроводных колонках стабильно происходит отбор воды для оценки качества.

Качество подземных вод в естественных природных условиях по показателям содержания железа, марганца, в других случаях - фенолов, азотсодержащих веществ, нефтепродуктов, а в ряде северных районов - водорастворенных газов (сероводород, метан), не соответствует требуемым нормам СанПин 2.1.4.559-96. В бактериологическом отношении подземные воды района охарактеризованы как удовлетворительные [15].

3.4 Радиационная обстановка

Радиационная обстановка в г. Томске, его окрестностях и в тридцати километровой зоне от Сибирского химического комбината охарактеризована как нормальная.

Среднесуточная мощность дозы гамма-излучения на местности, по данным постов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), работа которых осуществляет круглосуточно, составляла в зоне СХК и в г. Томске (8,0 – 12) мкР/час, что свидетельствует о соответствии уровню естественных фоновых значений, характерных для Томского района и Западной Сибири в целом.

За последний год крупных аварий и происшествий на радиационно-опасных объектах зарегистрировано не было. Радиационные аномалии не выявлены.

4 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов эколого-геохимического исследования на территории г. Томска и его окрестностей были выбраны эпифитные мхи, отобранные с коры деревьев.

4.1 Отбор проб и пробоподготовка

Отбор проб проводился в рекреационных (парковых) зонах города Томска, его окрестностей (оз. Песчаное, п. Заварзино, п. Аникино, д. Лаврово, д. Петрово) и на сравниваемых территориях. Село Мельниково находится в Шегарском районе расположенным в 60 км западнее от г. Томска, для области имеет большую значимость, так как является довольно крупным производителем сельскохозяйственной продукции, а также там расположен важный автотранспортный узел. Через Шегарский район проходят два трубопровода, поставляющие нефть и газ предприятиям г. Томска и Кузбасса. СНТ «Весна» расположено в черте города Северск, в 20 км к северу от г. Томска. Характерная черта Северска - неблагоприятная экологическая обстановка за счет близкого расположения Сибирского Химического комбината (ОАО «СХК», предприятие ядерно-топливного цикла), неподалеку от комбината находится ТЭЦ, работающая на кузнецком каменном угле.

Рекреационная зона у оз. Песчаное (Тимирязево) может рассматриваться в качестве условно фоновой территории, в силу отсутствия крупных автомобильных дорог и промышленных предприятий, наличия крупного лесного массива, представленного сосновым бором, с помощью которого создается естественная преграда от атмосферного выпадения загрязняющих веществ от предприятий г. Томска.

Биогеохимическая съемка проводилась в летние и осенние месяцы 2016 – 2018 гг. Было отобрано 34 пробы эпифитных мхов вида дикран (*Dicranum scorarium*) в 9 точках отбора проб (Рисунок 5).

Исследуемые пробы эпифитных мхов, используют кору деревьев в качестве субстрата.

1) Озеро Песчаное

Тимирязевское село в подчинении города Томска. Озеро Песчаное расположено на левом берегу реки Томи в окрестностях села Тимирязевское на третьей надпойменной террасе. Водоем окружен с запада, севера и юга сосновым бором. Возраст озера составляет предположительно несколько тысяч лет, что подтверждается залежами торфа в окружающих его болотах. Дно водоема находится на одном уровне с торфом болот, которые в прошлом были озерами.

2) Заварзино

Заварзино – посёлок, состоящий из дачных участков. С конца 1990-х входит в состав Советского района города Томска (ранее Заварзино считалось пригородной деревней).

Располагается поселок в месте слияния двух малых рек — Ушайки и её правого притока Малой Ушайки.

Заварзинская лесная дача и радоновый источник в окрестностях посёлка включены в список особо охраняемых природных территорий Томской области. Радоновый источник относится к маломинерализованным щелочноземельным водам. Лечебные свойства источника зависят от количества растворённого в воде радона и некоторых прочих элементов.

На территории посёлка расположена группа гигантских муравейников, один из которых, высотой 2,5 метра и диаметром 5,1 метров, осенью 2015 года томским отделением Русского географического общества признан самым большим муравейником России [45].

3) Аникино

Аникино – посёлок, входящий в состав города Томска, находящийся у южной границы городских земель, с 2004 года официально входит в состав Кировского района Томска. С севера ограничен рекой Басандайка и одноименным посёлком.

Через посёлок проходит Коларовский тракт (автомобильная дорога Томск – Коларово – Ярское).

Застройка посёлка начала формироваться в конце XIX века как дачная летняя деревня для горожан. В советское время эти земли широко использовались под государственные дачи и летние оздоровительные лагеря.

По посёлку протекает р.Басандайка, формально отделяющая посёлок Аникино от посёлка Басандайка, впадая в Томь .

4) Лаврово

Деревня в Томском районе Томской области. Входит в состав Рыбаловского сельского поселения.

Расстояние до центра Рыбаловского поселения 12 км, до Томска 51 км.

Деревня стоит на берегу реки Порос.

5) Лагерный сад

Памятник природы «Лагерный сад» является уникальным геологическим объектом, расположенным в Кировском районе г. Томска, на правом берегу р.Томь. Площадь парка составляет 40 га. Лагерный сад расположен на высоком берегу р. Томь, в оползневой зоне.

Геологические обнажения под парком относятся к памятникам природы Томской области и представлены опорным геологическим разрезом, занесенным в международный каталог как имеющий единичные аналоги во всем мире. Уникальность как геологического объекта состоит в том, что это единственное во всей России место, где практически в одном обнажении видно общее строение глобальных геологических структур – платформ. это Представлена Западно – Сибирская платформа с ее фундаментом, который сложен пластами глинистых сланцев и песчаников каменноугольного возраста, образованных не менее 300 млн лет тому назад, и чехлом молодых горизонтально залегающих рыхлых отложений – песков и глин.

Основание обрыва парка представлено глинистыми сланцами и алевrolитами нижнекаменноугольного возраста.

Усиление оползневых явлений является результатом прокладки дорог и вырубки леса на склонах [22, 26].

6) Михайловская роща

Михайловская роща является памятником природы расположенная в южной части Октябрьского района г. Томска.

Территория рощи ограничена с юга и востока правым берегом реки Ушайки, с севера – территорией подшипникового завода и с запада Комсомольским проспектом. Размер площади составляет 53,7 га.

В зимнее время года на территории рощи действует лыжная трасса.

7) Мельниково

Село, расположенное на расстоянии 64 км от г. Томска. На данный момент является административным центром Шегарского района. Село отличается от других населенных пунктов района развитой сферой предпринимательства и сетью автомобильных дорог. В 4 км к востоку от села Мельникова протекает важнейшая водная транспортная артерия Западной Сибири - река Обь. Рядом с селом располагается Мельниковский кедровник.

8) Петрово

Деревня, находящаяся в Томском районе. Расстояние до административного центра – г. Томска 25 км, до Зоркальцева (центр поселения) – 6 км. Деревня состоит из трех отдельных массива застройки, которые соединяются дорогой. Предпринимательская деятельность осуществляется в сфере изготовления изделий из гипса, цемента и бетона, а также производстве мебели.

9) СНТ Весна.

Садовое некоммерческое товарищество, расположенное на территории г. Северск, в 20 км от г. Томска.

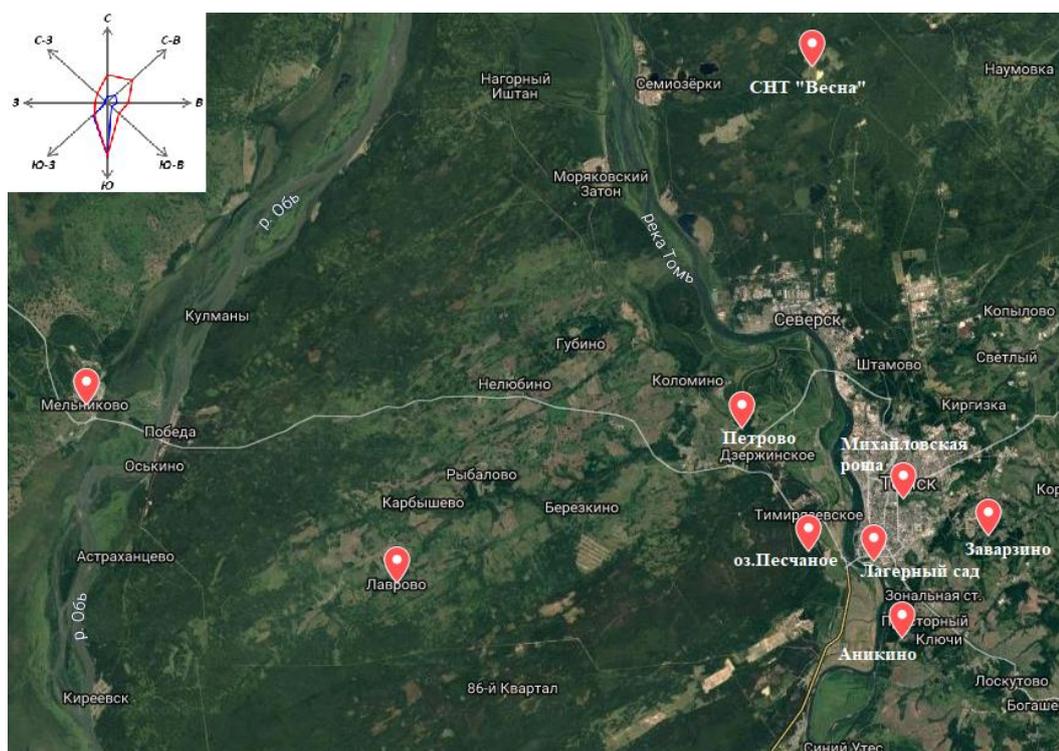


Рисунок 5 – Карта-схема отбора проб эпифитных мхов на территории г. Томска и его окрестностях 2016 – 2018 гг.

Пробы отбирались с коры деревьев на высоте 0,5 – 1 метр над почвенным покровом. Мох отбирался вручную с использованием ножа и тканевых перчаток, после чего материал упаковывался в герметичные полиэтиленовые пакеты, с указанием места и даты отбора, после чего производилась пометка в журнале и на маршрутной карте. На исследуемых территориях не исключается интенсивное загрязнение атмосферного воздуха антропогенными потоками от ближайших источников.

Деревья, а в том числе и сам мох, способны поглощать оседающие из атмосферы аэрозоль и различные химические соединения. Все пробы отбирались в летнее и осеннее время, поэтому погодные условия и количество выпавших осадков также играли роль.

Для определения осевших на поверхности мха загрязняющих веществ пробы не подвергались промыванию, а высушивались в лаборатории при комнатной температуре в закрытом помещении с вентиляцией (Рисунок 6). После чего из проб удалялись посторонние предметы – ветки, листья, кора дерева, насекомые.

Общая схема подготовки проб мха для анализов приведена на рисунке 6:



Рисунок 6 – Схема пробоподготовки эпифитного мха для анализа [13]

4.2 Аналитическое обеспечение исследований Атомно-абсорбционный анализ ртути

Отобранные пробы мха были проанализированы на содержание ртути. Анализ проводился в лаборатории микроэлементного анализа на базе международном научно-образовательном центре «Урановая геология» инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ. Содержание ртути в образцах проводилось методом атомной абсорбции (метод пиролиза) с использованием ртутного анализатора «РА-915М» с приставкой «ПИРО-915+» (Рисунок 7), предел обнаружения ртути на котором составляет 5 нг/г. С целью контроля градуировочных характеристик измерений ртути был использован стандартный образец состава листа березы ЛБ-1 (ГСО 8923-2007).

Атомизатор «ПИРО-915+», состоящий из двух секций состоит из:

- испарителя, в котором происходит испарение жидких проб и пиролиз твердых проб,
- нагретого реактора, цель которого каталитическая деструкция соединений матрицы пробы.

После пиролизатора газовый поток мгновенно поступает в аналитическую кювету, температура которой составляет до 700 °С. Блоком

питания прибора обеспечивается постоянство скорости прокачки воздуха и температуры испарителя, нагретого реактора и кюветы.



Рисунок 7 – Анализатор ртути «РА-915+» с пиролизической приставкой «ПИРО-915+» [37].

Принцип работы приставки основан на восстановлении до атомарного состояния содержащейся в пробе связанной ртути методом пиролиза и последующем переносе образовавшейся атомарной ртути из атомизатора в аналитическую кювету воздухом, который является газом – носителем.

Блок – схема приставки ПИРО – 915+ с анализатором ртути РА – 915+ представлена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Блок – схема приставки ПИРО – 915+ с анализатором ртути РА – 915+[37] .

Побудитель расхода воздуха (3), который находится в блоке питания и прокачки приставки (1), используется для нагнетания воздуха в атоизатор и аналитическую кювету. Входной угольный сорбционный фильтр (2) используется для очистки от паров ртути воздуха, поступающего в термокамеру. Скорость прокачки воздуха задается и поддерживается автоматически в зависимости от выбранного режима работы. Навеску пробы помещают в лодочку дозатора (11), которую вводят в первую секцию (испаритель) атоизатора (7), где происходит нагревание пробы. Температура испарителя может меняться от 200 до 800° С в зависимости от выбранного режима работы. Соединения ртути испаряются и частично диссоциируют с образованием элементарной ртути и вместе с газом – носителем поступают во вторую секцию (дожигатель) атоизатора (8). В дожигателе при температуре 600 - 700° С происходит полная диссоциация соединений ртути и дожигание органической матрицы пробы. Из атоизатора газовый поток поступает в нагреваемую до 700° С выносную аналитическую кювету (9). Регистрация атомов ртути осуществляется анализатором РА – 915+ (13), при этом результат анализа выводится на компьютер монитор персонального компьютера (14).

Методика измерений

Навеска с пробой, массой от 80 до 100 мг помещается в специальный дозатор, который помещается в атоизатор прибора. Внутри атоизатора происходит пиролиз твердых проб и каталитическое разрушение соединений матрицы проб. После атоизатора нагретый газовый поток поступает в подогреваемую оптическую кювету, в которой происходит измерение аналитического сигнала. Измерения проводятся в течение 1 – 2 минут, но не более.

Управление работой анализатора, регистрация и обработка данных должны осуществляться с помощью персонального компьютера с установленным специальным программным обеспечением [37].

Прямое определение концентраций ртути позволяет проводить использование данного анализатора ртути без предварительной химической пробоподготовки. Анализатор с приставкой позволяет проводить прямой анализ жидких и твердых проб любого состава. Благодаря низкому пределу обнаружения ртути существует возможность проводить измерения содержания ртути в природных и технологических объектах, в сырье, пищевых продуктах и отходах на их соответствие технологическим и санитарно-гигиеническим нормативам [37].

Технические характеристики прибора представлены в таблице 4:

Таблица 4 – Технические характеристики ртутного анализатора «РА-915М» с приставкой «ПИРО-915+»

Пределы допускаемой основной относительной погрешности, d_0 , %	± 20
Верхняя граница диапазона измерений	5 мг/кг
Время анализа	1-5 мин
Допустимые навески проб	10-500 мг

Границы относительной погрешности измерений и технические характеристики показаны в таблице 5:

Таблица 5– Характеристика погрешностей измерений ртути

Диапазон измерений массовой доли ртути, мг/кг	Границы относительной погрешности δ ($P=0,95, n=2$)*, %
От 2,5 до 25 включительно	± 40
Свыше 25 до 250 включительно	± 28
Свыше 250 до 500 включительно	± 20

* Соответствует расширенной неопределенности при коэффициенте охвата, равном 2.

4.3 Методика обработки аналитической информации

Обобщение полученных результатов аналитических исследований и обработка этих данных проводилась на персональных компьютерах, в аудитории 541 МИНОЦ «Урановая геология» отделение геологии ИШПР ТПУ, с использованием таких программ, как: «Microsoft Office Excel 2013», «Corel Draw», «Statistica» и «Surfer».

5 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ЭПИФИТНЫХ МХАХ НА ТЕРРИТОРИИ Г.ТОМСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

5.1 Содержание ртути во мхах г. Томска и его окрестностей

Отбор проб проводился в летние и осенние месяцы 2016 – 2018 гг. В общем получено 34 пробы эпифитных мхов вида дикран (*Dicranum scorarium*) в 9 точках отбора проб.

Концентрации ртути во мхах зависят от точки отбора в городе и близ него, а также от предприятий, находящихся рядом с местом отбора пробы (Таблица 6).

Установлено содержание ртути от 195 до 226 нг/г, что считается высоким показателем по отношению к среднему содержанию во мхах (60-80 нг/г), установлены в деревне Петрово, селе Мельниково, садовом товариществе «Весна» и в посёлке Заварзино [75].

Высокие концентрации ртути в эпифитных мхах, отобранных на территории деревни Петрово обусловлены несколькими источниками загрязнения. Основной источник представлен комплексным влиянием Северного промышленного узла, представляющий собой агропромышленный конгломерат в состав которого входят: ООО «Томскнефтехим», Сибирский химический комбинат, агропромышленные комплексы, полигоны бытовых и промышленных отходов [51]. Деревня расположена в зоне менее 10 км с подветренной стороны от СХК (Рисунок 9). Вторым предположительным источником загрязнения является фабрика по производству цемента и бетона. В сырье (например, известняк), которое применяется для производства цемента и в качестве топлива, применяемого в процессе, присутствует ртуть, что обуславливает её дальнейшее поступление в цементную печь. Независимо от типа процесса и типа печи (например, мокрый и сухой процесс обжига), ртуть поступает в печь с сырьевыми материалами, в которых содержание ртути варьируется в различных регионах, а также с топливом, имеющим различное содержание ртути.

Основной выход ртути при производстве клинкера, как предполагается, происходит при выходе из печи вместе с пылью и дымовыми газами. Крайне небольшие количества ртути, которые не выбрасываются в атмосферу или не захватываются очистным оборудованием, могут оставаться в цементной пыли или в конечной цементной продукции. Согласно Руководству ЮНЕП, содержание ртути в цементе, как предполагается, составляет 20 – 100 нг/г ртути на тонну цемента; средние значения из исследований, проведенных в США и Канаде, показали 140 нг/г ртути на тонну материала, а также 60 нг/г ртути на тонну в сортах цемента из Германии, при этом разброс отдельных значений варьируется от уровня ниже предела обнаружения до значений, значительно превышающих границы диапазона Руководства ЮНЕП [48]

Согласно этому документу на 2005 год производство цемента было третьим крупным источником загрязнения ртутью [48].

В пробах, отобранных на территории села Мельниково высокие показатели содержания ртути можно объяснить тем, что село расположено в 40 – 50 км от СПУ (Рисунок 9), а также наличием федеральной дороги с интенсивным движением автотранспорта (особенно в течение рабочего дня) и высокой производительностью сельскохозяйственной продукции, наличием печного отопления в частных домах. При сжигании древесины и угля в печах, в окружающую среду поступает ряд загрязнителей, так при сжигании угля происходит интенсивное загрязнение воздуха фтором, мышьяком, ртутью. За счет удержания и накопления ртути (и ее производных) в растительности и почве, с каждым годом увеличивается ряд экологических проблем. В составе некоторых пестицидов, которые используются в сельском хозяйстве для протравливания семян и защиты их от вредителей (например, гранозан ранее активно использующийся на территории Томского района), мы можем видеть ртуть. В животноводстве ртуть используется в ветеринарной практике для профилактики заболевания животных [65].

На территории садового товарищества «Весна» среднее содержание ртути равно 226 нг/г, что принято считать высоким показателем. Причин для

такого накопления ртути в мхах данной территории несколько: работа Сибирского химического комбината, распространение золы-уноса от Северской ТЭЦ, работающей на угле, использование печного отопления жителями пригорода [66].

В посёлке Заварзино наблюдается комплексное воздействие загрязняющих компонентов. Посёлок испытывает техногенный прессинг от городских предприятий, от промышленного узла, от сельскохозяйственной деятельности, но основным источником поступления ртути на данной территории считается выбросы ЗВ от печного отопления. В 2011 году началась газификация посёлка, но большая часть жилых домов до сих пор отапливается за счет старых печей в которых не предполагается наличие очистительных фильтров. В 2017 году проводились исследования по накоплению ртути эпифитными мхами на территории города Прокопьевска, в результате которого установлено, что в районах с печным отоплением наблюдается высокое содержание ртути [11].

В пробах поселка Аникино содержание ртути варьируется от 115 до 199 нг/г. Воздействие на атмосферный воздух пос. Аникино оказывает железнодорожная ветвь, которая соединяет Транссибирскую магистраль с Томским авиационным транспортом. Негативное влияние железной дороги на экосистему проявляется в загрязнении воздушной и водной среды, земель при эксплуатации железных дорог.

К факторам воздействия объектов железнодорожного транспорта на окружающую среду можно отнести: – механическое воздействие (твердые отходы, воздействие дорожной техники на почву); – физическое (тепловое излучение, электромагнитные поля, вибрация и др.); – химическое (щелочи, углеводороды, краски и растворители, пестициды и др.); – биологическое (макро и микроорганизмы, бактерии, вирусы); нарушение ландшафтов, осушение, заболачивание. Комплекс этих факторов оказывает долговременное отрицательное воздействие на окружающую среду. Параллельно железной ветви проходит автодорога 2 категории –

Богашевский тракт, соединяющая город с международным аэропортом Томск имени Н.И.Камова, характеризующаяся интенсивным автодвижением в течение всего дня [46].

Пробы, отобранные в Лагерном саду, показывают среднее содержание ртути – 142 нг/г. Наибольшее воздействие на загрязнении ртутью на данной территории оказывают: работа Томской ГРЭС – 2 в топливном балансе которого используется уголь и газ Кузнецкого бассейна, работа местных котельных, а также влияние СПУ в силу непосредственной близости (Рис.9) [33]. При высоких температурах сжигания ртуть, содержащаяся в углях, практически вся переходит в газообразное состояние и, в конечном счете, выбрасывается в атмосферу с отходящими газами или концентрируется на частицах, улавливаемыми специальными очистными установками.

Высокие концентрации ртути во мхах на территории Михайловской роши можно объяснить тем, что вблизи ранее располагался шарикоподшипниковой завод. В ходе технологических процессов которого происходило выделение загрязняющих веществ. К основным источникам относятся: шлифовальный шлам, металлическая стружка, производственный мусор и отработанные люминесцентные лампы. Завод был закрыт, но антропогенное влияние сохраняется по сей день, так как выделяемые элементы долгое время накапливались в почве и растительности. Среднее содержание ртути в Михайловской роше составляет 96 нг/г, что объясняется непосредственной близостью Томской ГРЭС-2, а также граничащим с парком на западе Комсомольским проспектом, являющимся одним из самых длинных проспектов города с высокой автомобильной загруженностью.

В деревне Лаврово среднее содержание ртути составило 100 нг/г. Загрязнение данной территории ртутью возможно обусловлено расположенным вблизи СПК «Рыбалово», специализирующемся на разведении молочного крупного рогатого скота и производстве сырого молока. Ртуть и ее соединения поступают в окружающую среду вместе с отходами производства, удобрениями и через пищевые добавки попадают в

организм рогатого скота, а затем и в молоко [47]. Однако, не только влияние СПК сказывается на накоплении ртути мхами. Деревня расположена с подветренной стороны от Северного промышленного узла в 30 км близости, что несомненно оказывает влияние на загрязнение окружающей среды.

Таблица 6 – содержание ртути в эпифитных мхах Томска и окрестностей

№ Пробы	Место отбора пробы	C ₁	C ₂	Ср.с
1	Заварзино 1-15	193,0	200,4	196,7
2	Заварзино 2-15	190,2	198,4	194,3
3	Песчаное 1-15	27	20,5	23,75
4	Песчаное 2-15	37,1	37,2	37,2
5	Песчаное 3-15	34,3	23,2	28,75
6	Песчаное 4-15	25,7	30,7	28,2
7	Аникино -1	177,2	156,2/171,2	168,2
8	Аникино -2	200,9	197,9	199,4
9	Аникино- 3	122,3	109,9	116,1
10	Аникино -4	120,0	123,0	121,5
11	Аникино-5	120,4	109,9	115,2
12	Лаврово 1	98,5	93,6	96
13	Лаврово 2	113,6	109,0	111,3
14	Лаврово 3	100	89,4	94,7
15	Лагерный Сад -1	120,4	110,3	115,3
16	Лагерный сад 2-15	193,1	183,5	188,3
17	Лагерный сад 3-15	129,1	126,2	127,7
18	Лагерный сад 4-15	123,9	130,2	127,1
19	Лагерный сад 3-15	162,1	156,6	159,3
20	Михайловская роща	139	129,4	134,2
21	Михайловская роща	55,6	49,8	52,7
22	Михайловская роща	108,8	96	102,4
23	Петрово №1	226,4	240,8	233,6
24	Петрово №2	240,2	250,2	245,2
25	Петрово №3	332,4	369,6	351
26	Петрово №4	247,7	252,8	250,7
27	с.Мельниково №1	206,8	216,7	211,8
28	с.Мельниково №2	206,7	216	211,3
29	с.Мельниково №3	245,5	265,6	255,6
30	с.Мельниково №4	120,8	143,7	128
31	с.Мельниково №5	209,8	220,4	215,1
32	СНТ Весна №1	190,7	200,2	195,4
33	СНТ Весна №2	237,1	252,7	244,9
34	СНТ Весна №3	226,8	249,9	238,4

- *Примечание : C₁ – первое измерение, C₂ – второе измерение , Ср.с- среднее содержание*

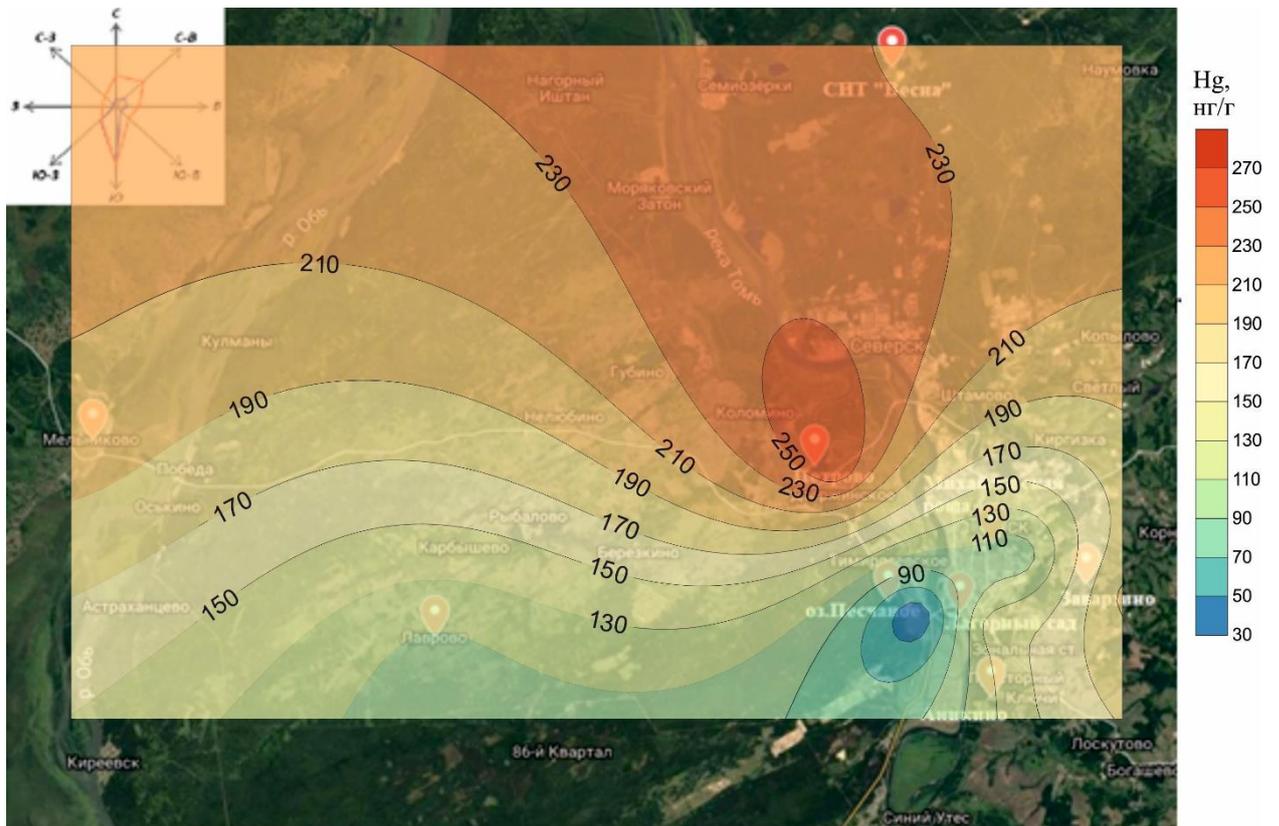


Рисунок 9 – Распределение ртути в рекреационных (парковых) зонах Томска и окрестностей

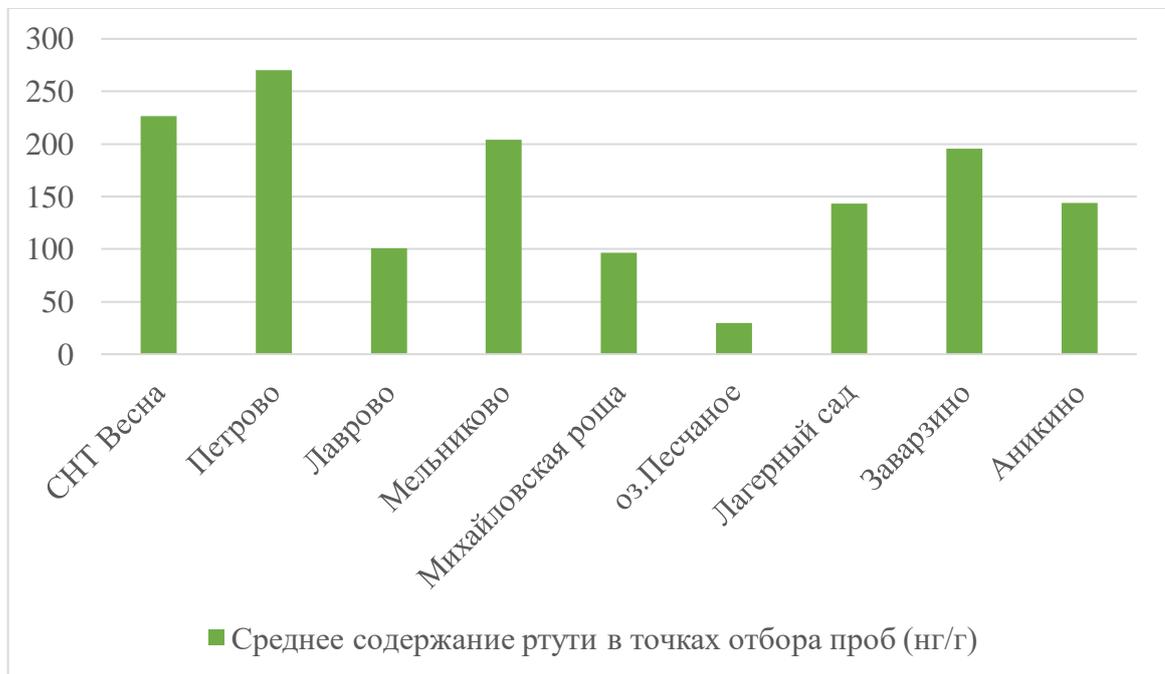


Рисунок 10 – Гистограмма средних содержаний ртути в рекреационных зонах Томска и окрестностей по мере удаления от СПУ

Описанные источники являются возможными, но для доказательства их прямого воздействия необходимо провести еще ряд исследований. На сегодняшний день в роли непосредственного источника загрязнения Томского района выступает СПУ. Ранее проведенные исследования в Северном промышленном узле показали, что загрязнение этих территорий имеет многофакторное содержание: – перенос загрязняющих веществ от предприятий в окружающую среду осуществляется главным образом аэрозольным путем; – сильное воздействие оказывают прямые сбросы жидких производственных отходов, а также утечки из различного рода инженерных сооружений, свалок и др.; – основным источником азотно органического и микробиологического загрязнения являются предприятия агрокомплекса; – воздействие нефтехимического комплекса; воздействие предприятий ЯТЦ фиксируется наличием в природных средах специфических компонентов (^{137}Cs и др.); – воздействие города достаточно существенно и весьма разнообразно, хотя концентрация отдельно взятых «городских» загрязняющих веществ невысока; – в зоне техногенного влияния наблюдаются значительные отклонения биоиндикаторных показателей.

5.2. Ассоциативные связи ртути с другими химическими элементами в составе мхов

На основе результатов ранее проведенных исследований выпускницей отделения геологии Боженко Н.П. [72] тех же образцов эпифитных мхов было произведено определение содержания ртути в настоящей работе. Данные о содержании 28 элементов были использованы для выявления ассоциативных связей с ртутью, что в целом позволило получить более полную картину техногенного загрязнения исследуемых территорий.

Для выделения ассоциаций химических элементов в пробах на исследуемых территориях проводился корреляционный анализ. Наиболее значимые связи представлены в таблице 7.

Расчеты коэффициентов парной корреляции выполнены с оценкой значимости статистических связей по высоким уровням (R 0,7 – 0,9). Прослеживается тесная связь элементов с редкоземельными элементами, образующая 3 условные группы (Рисунок 11). Первая группа имеет сильную связь элементов ($>0,9$) и говорит об антропогенном характере – переносе пыли и выбросах от теплоэнергетики. Вторая и третья группы характеризуются комплексным воздействием.

Таблица 7 – Корреляционный анализ

Элементы	Значения корреляции
Tr, Hf, Na, Ca, Fe, Co, Sc, Zn, Cs	0,9
U, Cr, As	0,8
Sb, Hg, Br, Ta, -Ag	0,7

При $\min t = 0,51$ (95%)

При построении граф-ассоциаций химических компонентов учитывались только связи со значимостью $R \geq 0,7$.

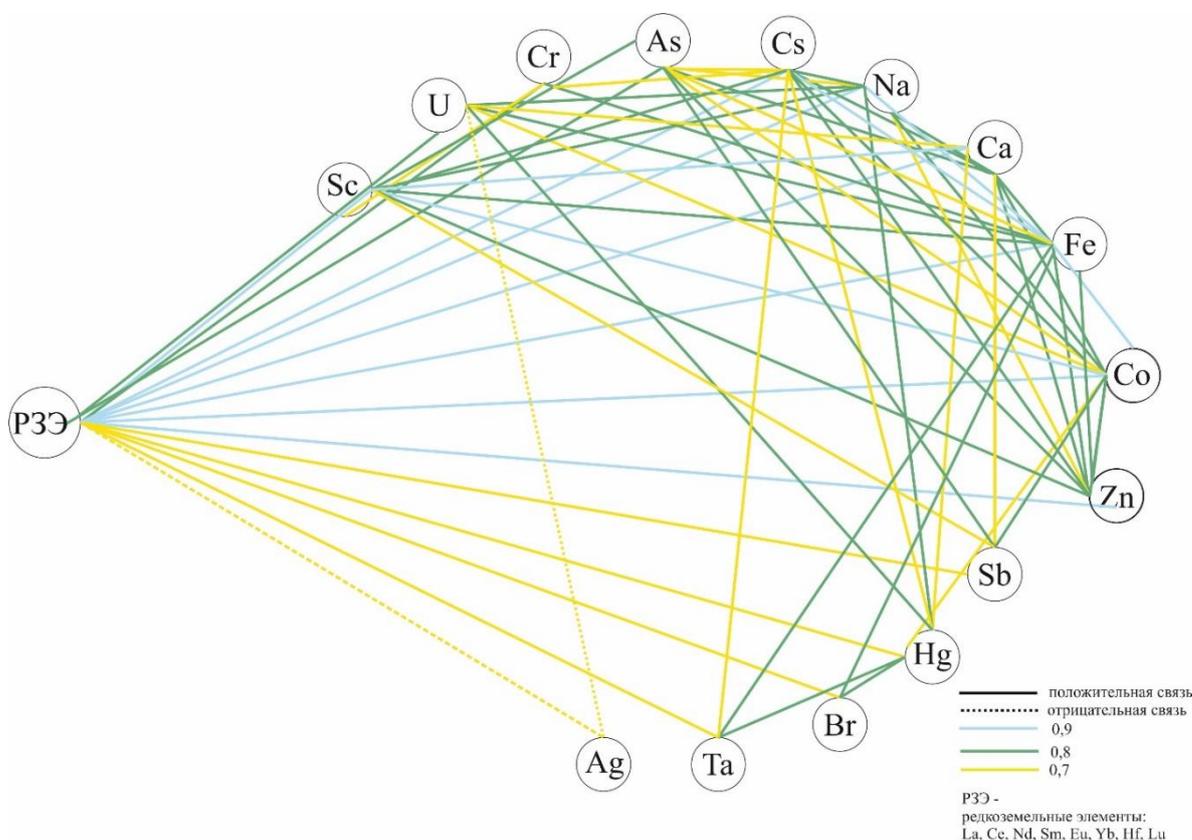


Рисунок 11 – Граф-ассоциаций химических элементов в эпифитных мхах, отобранных на территории Томска и окрестностей

Далее был проведен кластерный анализ, цель которого – объединение большого количества микроэлементов в группы по наивысшим значениям коэффициентов ранговой корреляции.

Графические результаты кластерного анализа изображаются в виде дендрограммы, в которой по оси абсцисс располагаются символические обозначения химических элементов, а по оси ординат значение $1 - r$, соответствующее каждому иерархическому уровню группирования.

В иерархической дендрограмме выделяются несколько кластеров: первая корреляция наблюдается между Hg-Ta-Br-U, вторая Sb-As-Th, третья Zn-Nd-Tb-Cr и самый большой кластер представленный в основном редкоземельными элементами **Eu-Na-Hf-Yb-Lu-Fe-La-Sc-Co-Ce-Cs-Ca-Ba-Sm**. Среди этих элементов наиболее сильную связь отмечается у Na и Hf, а также редкоземельные элементы La и Sc (Рисунок 12).

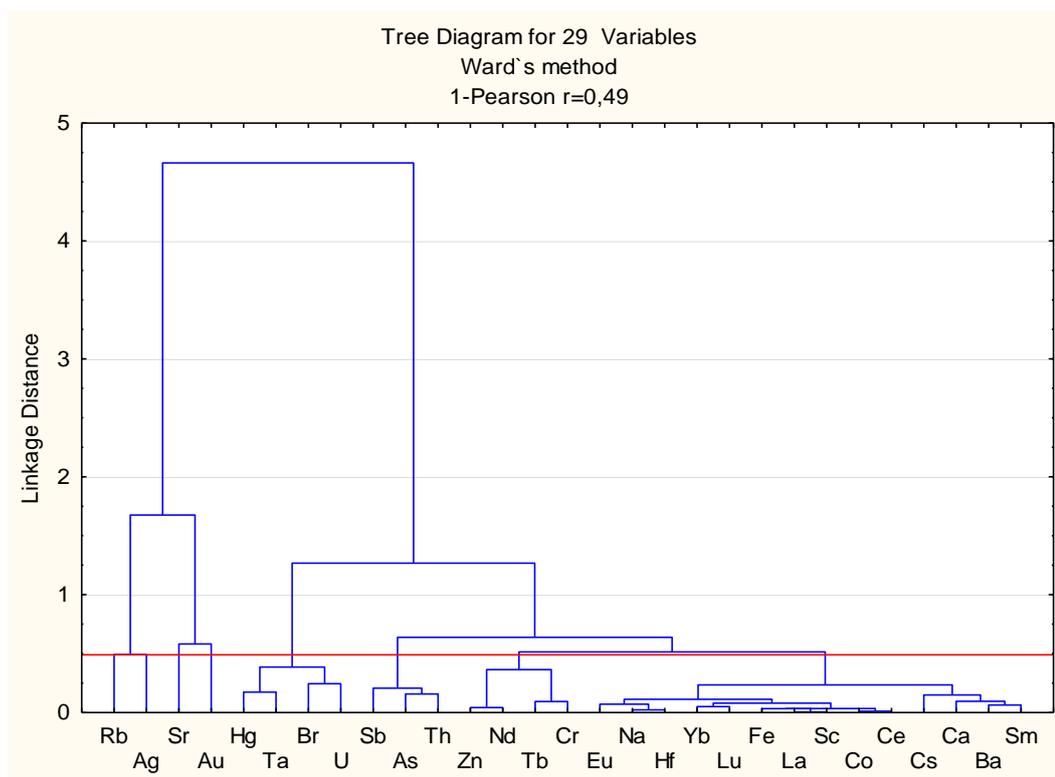


Рисунок 12 – Иерархическая дендрограмма химических элементов эпифитных мхов Томска и окрестностей

Данные корреляционного и кластерного анализа позволяют выделить общую ассоциацию Hg-U-Br-Ta, что говорит об однотипных источниках поступления загрязнений, предположительно, деятельность СХК, ТНХК, Северной ТЭЦ, Томской ТЭЦ, ГРЭС-2 и многочисленного количества котельных. Также, примечательна, последняя ассоциация элементов, половину которой составляют редкоземельные элементы, что подтверждает результаты ранее проведенных исследований по почвенному покрову [18].

Далее построены геохимические ряды с помощью расчета коэффициентов концентраций. Значения Кк получены в результате деления содержания ртути в эпифитных мхах Томска и окрестностей на фоновое содержание ртути (оз.Песчаное).

Отношение значений концентраций химических элементов в эпифитных мхах Томска и окрестностей к их содержанию в пробах с фоновой территории показало нам, что в эпифитных мхах относительно фоновой территории оз.Песчаное наблюдается превышение концентраций. На основе данных геохимических рядов можно увидеть высокий уровень накопления Ta и Cr ($K_k > 10$), в меньшей степени накапливаются элементы коэффициент концентрации которых колеблется от 5 до 10 (Таблица 8). Содержание Sr, Rb, Ag во мхах Томска и окрестностей ниже фоновых показателей ($K_k < 1$).

В эпифитных мхах относительно кларка ноосферы по Н.Ф. и М.А. Глазовских накапливаются Zn, Ba и Au кларки концентрации которых выше единицы. Остальные элементы имеют концентрации существенно ниже кларков ноосферы.

Таблица 8 – Геохимические ряды

Относительно фоновой территории оз.Песчаное	Ta 15,04 – Cr 12,46 – Zn 9,65 – Sm 9,38 – La 7,32 – Th 7,15 – Sc 7,07 – Hf 7,01 – Nd 6,95 – Eu 6,75 – Na 6,01 – Ba 5,71 – Yb 5,57 – Tb 5,22 – Ce 4,62 – Lu 4,10 – Fe 3,92 – Hg 3,73 – Sb 3,55 – Ca 3,08 – As 2,68 – Co 2,49 – Cs 1,85 – Au 1,71 – U 1,45 – Br 1,33 – Sr 0,92 – Rb 0,61 – Ag 0,24.
Относительно кларка	Au 4,4 – Ba 1,99 – Zn 1,05 – Sb 0,71 – Hg 0,64 – As 0,48 – U

ноосферы по Н.Ф. и М.А. Глазовских	0,46 – Ag 0,30 – Br 0,30 – Ce 0,20 – Hf 0,19 – La 0,19 – Rb 0,14 – Cr 0,12 – Sc 0,11 – Tb 0,10 – Yb 0,10 – Eu 0,09 – Sm 0,07 – Co 0,07 – Th 0,06 – Lu 0,06 – Cs 0,05 – Sr 0,04 – Ta 0,02.
---------------------------------------	---

При сравнении содержаний элементов с кларком ноосферы и фоновой территорией, получаем отличающиеся друг от друга геохимические ряды.

Относительно фоновой территории выделяются опять же редкоземельные элементы наличие которых объясняется воздействием топливно-энергетического комплекса, предприятий с металлообработкой, стройиндустрии и других крупных производств. При сравнении с кларком ноосферы выделяем Au и Ba, значения которых больше 1, что говорит о дополнительном факторе поступления этих элементов в мхи. Накопление бария, как и в первом случае, можно объяснить влиянием ТЭК.

Накопление цинка наблюдается в обоих случаях, что можно объяснить тем, что цинк входит в состав ферментов, участвует в синтезе ДНК, белковом, липоидном, углеводном обмене, биосинтезе витаминов и ростовых веществ [70].

Факторный анализ (метод главных компонент) проводится для более детального определения влияния тех или иных факторов на взаимосвязи между химическими элементами в пробах. Главной целью факторного анализа является сокращение числа рассматриваемых микроэлементов и определение структуры взаимосвязей между микроэлементами, т.е. проводится классификация микроэлементов, обнаруженных в пробах.

График собственных значений для проб эпифитных мхов представлен на рисунке 13.

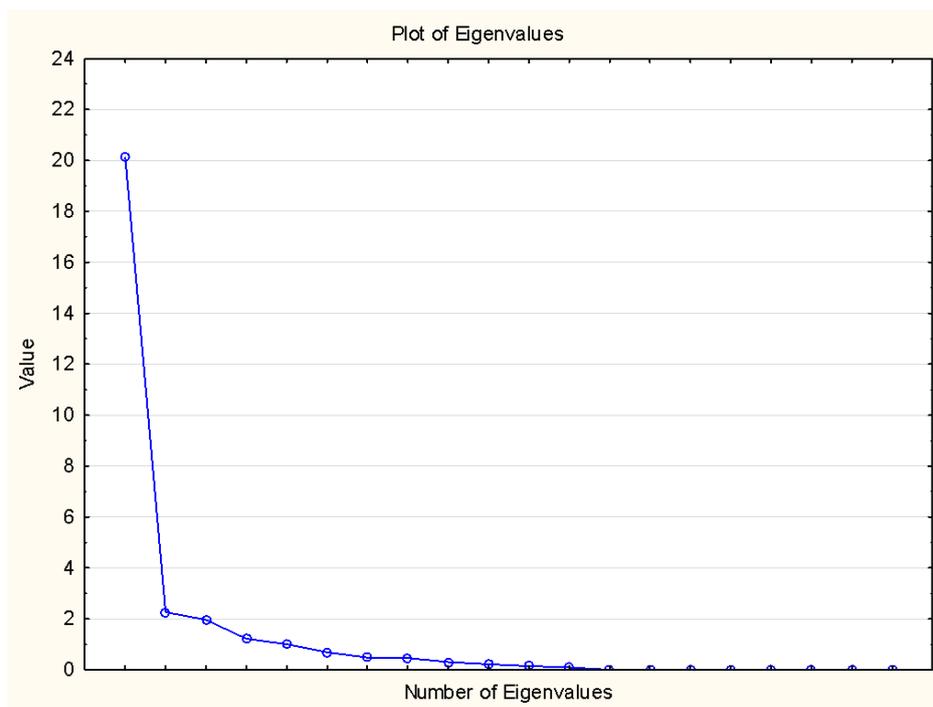


Рисунок 13 – График собственных значений

Рисунок демонстрирует графический метод («критерий каменной осыпи») оценки значимости собственных значений: справа от критической точки, где убывание собственных значений слева направо максимально замедляется, находится только «факториальная осыпь», которой зачастую пренебрегают. В соответствии с этим критерием можно оставить 3 фактора, а значит, только эти 3 фактора оказывают существенное влияние на распределение химических элементов в эпифитных мхах рекреационных зон Томского района. Наиболее вероятным является антропогенный фактор, так как несмотря на то, что пробы отбирались в рекреационных зонах, на территории района расположено большое количество предприятий, автомобильные дороги с асфальтным покрытием, сельскохозяйственных угодий, но наибольшее значение имеют непосредственно прилегающие к городу Томску и находящиеся в 30 километровой зоне влияния предприятий ядерно топливного цикла СХК. Основным источником существования острых экологических проблем Томского района является – Северный промышленный узел (СПУ), который охватывает территории север, северо-

восточного и частично восточного секторов относительно Томск – Северской промышленной агломерации.

Помимо перечисленных источников причиной загрязнения территории г. Томска и его окрестностей ртутью может служить перенос загрязняющих веществ. Главную роль в загрязнении территорий практически повсеместно играют атмосферные выбросы. Можно предположить, что значимый вклад в воздушный перенос вносит пылевой перенос и сжигание твердого топлива.

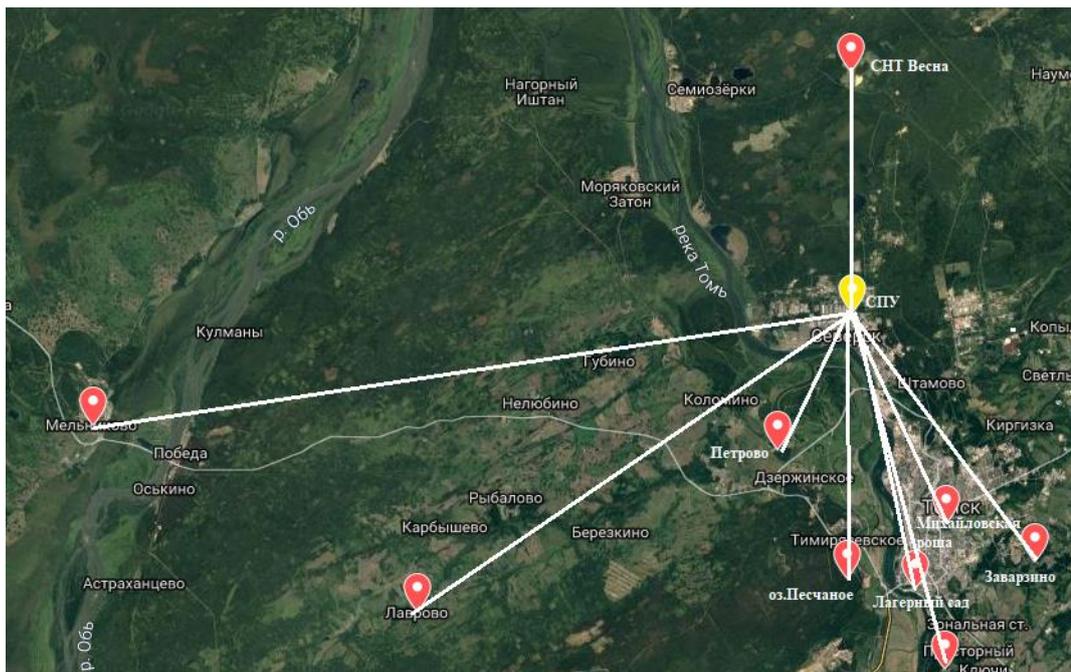


Рисунок 14 – Схема размещения населенных пунктов в удаленности от СПУ

5.3 Региональные отличия накопления ртути в эпифитных мхах Томска и окрестностей в сравнении с данными по субъектам РФ

Сравнивая полученные содержания ртути со средними содержаниями для эпифитных мхов в целом по Томской области, можно сделать вывод, что в Томске и его окрестностях содержания ртути выше, что объясняется влиянием Северного промышленного узла. За пределами СПУ располагается еще множество промышленных предприятий, большое количество дорог с интенсивным автодвижением, железнодорожные пути различного уровня на относительно небольших территориях [33].

Проводя сравнение содержания ртути в отобранных пробах на территории Томского района со значениями средних содержаний в Алтайской крае, Кемеровской области, Новосибирской и др. (Таблица 8), можно сказать, что в целом они не имеют весомых различий между собой, но в данном случае стоит обратить внимание на разницу в накоплении ртути в зависимости от природного объекта.

Проведенное сравнение между исследованиями в Кемеровской области и нашими исследованиями, показывает, что в Томске и окрестностях средние содержания ртути выше, что обусловлено влиянием Северного промышленного узла, использованием Кузбасского угля на ГРЭС, который играет немаловажную роль в накоплении ртути в Томском районе.

Вследствие ряда особенностей мхов, они способны поглощать загрязняющие вещества из воздушной среды и из почвы. Поэтому можно провести сравнение не только с эпифитными (древесными), но и с другими видами мхов. Наиболее близки по содержанию ртути смешанные виды мхов, отобранные на территории Новосибирской области. На остальных территориях, указанных в таблице 8, среднее содержание ртути варьируется от 20 до 160 нг/г.

Таблица 8 – Содержание ртути во мхах разных регионов России

Место отбора пробы	Природный объект	Hg, нг/г (min–max/среднее)	Источн ик
Алтайский край	смешанные виды	50–190/100	[71]
Республика Алтай	смешанные виды	40–110/90	[71]
Кемеровская область	Polytrichum commune (фон) территория золоторудного месторождения	- / 50 250-1650 / 400	[73]
Кемеровская обл. (г. Прокопьевск)	Эпифитные мхи	84-174 / 135	[74]
Новосибирская область	смешанные виды	40–400/160	[72]
Томская область	Сфагнум	27–90/58	[50]
Томский район	Эпифитные мхи	23-351/163	
Западная Сибирь	Hylacomiumsplendeu s	- / 30 - / 20	[7]

	Pleuroziumschreberi		
Республика Тыва	смешанные виды	24–130/57	[72]
Иркутская область	смешанные виды	60–240/120	[72]
Читинская область	смешанные виды	20–250/80	[72]
Республика Саха	смешанные виды	28–200/90	[72]
ЯНАО	смешанные виды	20–320 / 90	[72]

На территории города и окрестностей формирование ореолов рассеяния ртути непосредственно связано с деятельностью большого количества промышленных предприятий и преобладающим направлением ветров. Наибольший вклад в поступление ртути в окружающую среду вносят: Северный промышленный узел, деятельность промышленных предприятий меньшего уровня, интенсивное движение автотранспорта, сельское хозяйство и печное отопление.

Данные корреляционного и кластерного анализа позволяют выделить общую ассоциацию Hg-U-Br-Ta, что говорит об однотипных источниках поступления загрязнений, предположительно, деятельность СХК, ТНХК, Северной ТЭЦ, Томской ТЭЦ, ГРЭС-2 и многочисленного количества котельных.

Полученные в ходе проведенных исследований концентрации Hg в эпифитных мхах Томска и окрестностей не превышают ПДК и кларк концентрации, что говорит о не высоком уровне загрязнения. Однако стоит отметить, что в 3-х точках отбора (д.Петрово, с. Мельниково и СНТ Весна) содержание ртути в несколько раз выше, чем на других исследуемых участках, что вызывает опасения, а значит необходимо постоянное наблюдение и контроль за уровнем содержания ртути в Томском районе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Томск и его окрестности являются пригородным районом областного центра г. Томска, вследствие чего на эти территории приходится значимая антропогенная нагрузка. Томск - один из крупнейших городов СФО, а также относится к старейшим городам Сибири. Основные экологические проблемы города обусловлены деятельностью в первую очередь топливно-энергетического комплекса, а также агропромышленного, ядерного, нефтехимического и ряда других, функционирование которых происходит не только в городе, но и за его пределами. Комплекс негативного воздействия от этих предприятий распространяется на человека, биоту и все природные среды. Наибольшее негативное влияние отмечается в районе Северного промышленного узла, в который входит СХК, ТНХК, ТЭЦ, ГРЭС, различные агрокомплексы, предприятия города Северска и Томска, множество котельных, автотрассы, сбросы загрязняющих компонентов в реку Томь. Помимо переноса загрязняющих компонентов по воздуху, также следует иметь ввиду перенос по реке Томь, которая продолжительное время являлась источником водоснабжения населения. В ранее проведенных исследованиях по Северному промышленному узлу была установлена взаимосвязь между загрязнением окружающей среды и здоровьем населения [51].

Эпифитные мхи способны извлекать ионы химических элементов прямо из атмосферного воздуха, если этих элементов нет в субстрате. Исходя из этой особенности мхи используются в качестве индикаторов присутствия или отсутствия различных элементов в атмосфере. Наиболее перспективным направлением является использование мхов для установления загрязнений окружающей среды тяжелыми металлами, в конкретной работе – ртутью.

Изучение особенностей накопления ртути эпифитными мхами, произрастающими на коре деревьев, позволило сделать такие выводы:

- 1) Содержание ртути в эпифитных мхах Томска и окрестностей (34 пробы) находится в диапазоне 29 – 270 нг/г. Наибольшие концентрации выявлены на территориях: село Мельниково - 204

нг/г, деревня Петрово – 270 нг/г и СНТ Весна – 226 нг/г. Основными источниками загрязнения окружающей среды ртутью являются: СПУ, множество котельных, мелкие предприятия, сельскохозяйственная деятельность (применение пестицидов и удобрений). Немаловажную роль играет расположение точек отбора, так как Садовое товарищество «Весна» находится с ветреной стороны от СПУ, Петрово в непосредственной близости (менее 10 км) с подветренной стороны, село Мельниково находится с подветренной стороны в 50 км удаленности. Наименьшие содержания зафиксированы на территории озера Песчаное (29 нг/г) и связаны такие показатели с отсутствием промышленных предприятий и наличием естественного геохимического барьера – соснового бора.

- 2) Данные корреляционного и кластерного анализа позволяют выделить общую ассоциацию Hg-U-Br-Ta, что говорит об однотипных источниках поступления загрязнений, предположительно, деятельность СХК, ТНХК, Северной ТЭЦ, Томской ТЭЦ, ГРЭС-2 и многочисленного количества котельных.

Результаты проведенного исследования подтверждают индикаторные свойства эпифитных (древесных) мхов, что позволяет использовать их в биогеохимическом мониторинге для оценки загрязнения окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Алексеев В.А. Значение косвенных методов биомониторинга промышленных объектов. Ижевский государственный технический университет, 2007. – С.38.
- 2) Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Бадмаева Ж.О., Густайтис М.А. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов юга Западной Сибири // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – М.: Геохи РАН, 2010. – С.169–174.
- 3) Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И. и др. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития, 1995. – С.69–111.
- 4) Антипов А.Б., Генина Е.Ю. и др. Ртутный мониторинг окружающей среды / «Оптика атмосферы и океана» т. 15, №1, 2002. - С. 81-87.
- 5) Артамонова В.Г., Шаталов Н.Н. Профессиональные болезни. М.: «Наука», 1988. - С. 167-168.
- 6) Бардунов Л. В. Древнейшие на суше. Новосибирск: изд. «Наука» Сибирское отделение, 1984. – С. 157.
- 7) Большаков А.П., Дьякова Н.И., Птушко Л.И и др. К фитогеохимии ртути // Биогеохимия растений. Труды бурятского института естественных наук. Выпуск 2 ,1979. – С. 183–189.
- 8) Вольфсон Ф. И., Дружинин А. В. Главнейшие типы рудных месторождений. - М.: «Недра», 1975. – С. 392.
- 9) Врублевский В.А., Нагорский М.П., Рубцов А.Ф., Эрвье Ю.Ю. Геологическое строение области сопряжения Кузнецкого Алатау и Колывань-Томской складчатой зоны. - Томск: Изд-во ТГУ, 1987. – С.96.

- 1) Гладышев В.П., Левицкая С.А., Филиппова Л.М. Аналитическая химия ртути. - М: Наука, 1974. – С. 228.
- 11) Говоруха В.В. Оценка накопления ртути в моховом покрове на территории г. Прокопьевска(Кемеровская область). Томский Политехнический университет. 2017. – С.112
- 12) Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Томской области в 2016 году», 2017. – С. 156
- 13) Губина К. А. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Омска по результатам изучения почв и листьев тополя: магистерская диссертация, 2017. – С. 138.
- 14) Гудымович С.С., Рычкова И.В., Рябчикова Э.Д. Геологическое строение окрестностей г.Томска. Учебное пособие, 2009.
- 15) Данные территориального центра «Томскгеомониторинг» Томск, 2019.
- 16) Евсеева Н. С. Почвы // Н. С. Евсеева. География Томской области: Природные условия и ресурсы.- Томск, 2001. – С.144 – 153.
- 17) Ермакова Е.В., Фронтасьева М.В., Стейннес Э. Изучение атмосферных выпадений тяжелых металлов и других элементов на территории Тульской области с помощью метода мхов- биоиндикаторов. Экологическая химия. Том 13, выпуск 3, 2004. – С. 180.
- 18) Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка г. Томска по данным изучения почв. Автореферат, 2009. – С. 22.
- 19) Захаров М.Н., Кравцова Р.Г. Геохимические особенности магматических пород главных рудоносных структур Центрального сектора Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Геохимия, 1999. – С.1052-1061.
- 20) Иванов В.В. «Экологическая геохимия элементов». Справочник. - М «Экология», кн. 5, 1997. – С. 576.
- 21) Измеров Н.Ф. Гигиена труда. Руководство. М. 1987. – С. 312 – 318.

- 22) Илющенко М.А., Яковлевой Л.В. Загрязнение ртутью окружающей среды: эмиссия в атмосферу, восстановление территорий, влияние на здоровье. Материалы международного семинара. 2007. – С. 56.
- 23) Интересные факты и поучительные истории, связанные со ртутью/ Химия и Химики № 8 ,2009 . – С.36 – 53.
- 24) Итоговый доклад временного научного коллектива по проекту СКОПЕ “Оценка распространения ртути и ее роли в экосистемах”, 1994-95. – С. 30.
- 25) Косова Л.С. Природа города Томска. – Учебное пособие. Томск, 1999. – С. 116.
- 26) Колпаков В.Я. К вопросу о геологическом строении юга Томской области // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1974. – С. 1165 – 1174.
- 27) Кокколова О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора. Автореферат. 2003. – С. 20.
- 28) Криволуцкий Д.А., Таскаев А.И. Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. Труды 2 международного коллоквиума Междисциплинарной комиссии по биоиндикации МСБН// Институт биологии НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 2003. – С. 505.
- 29) Лапердина Т.Г. Определение ртути в природных водах. Новосибирск – М.: “Наука”, 2000. – С. 222.
- 30) Лассен К., Мааг Я., Ефимова Г. Оценка поступлений ртути в окружающую среду с территории Российской Федерации /– Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ, Датское агентство по охране окружающей среды, 2005. – С. 312.
- 31) Лужников Е.А. Клиническая токсикология. Учебник. 1999. – С. 353 – 355.

- 32) Лужников Е.А., Костамарова Л.Г. Острые отравления. Руководство. М 1989. – С. 289 – 293.
- 33) Ляпина Е.Е. Экогеохимия ртути в природных средах Томского региона. Автореф. дисс. – Томск, 2012. – С.21.
- 34) Маркова И.В., Афанасьева В.В. Клиническая токсикология детей и подростков. СПб 1998. – С. 138 – 141.
- 35) Матяшенко Г. В., Чупарина Е. В., Финкельштейн А. Л. Мхи *Hylocomiumsplendens* и *Pleuroziumschreberi* как индикаторы атмосферного загрязнения побережья Южного Байкала // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: – XI Международная научнопрактическая конференция. (Барнаул, 28–31 августа 2012 г.). – С. 135 – 138.
- 36) Межибор А.М., Рихванов Л.П. Биогеохимическая характеристика мхов *Polytrichum commune* на территории Урского хвостохранилища в Кемеровской области. Томский политехнический университет, 2016. – С.3 – 11.
- 37) Методические рекомендации при работе с прибором Анализатор ртути «РА-915+». Руководство по эксплуатации к прибору.
- 38) Моисеенко В.Г., Радомская В.И., Радомский С.М. и др. Интоксикация человеческого организма металлической ртутью. / Вестник ДВО РАН, №3, 2004. – С. 100 – 110.
- 39) Мэннинг У.Д., Федер У.А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 144.
- 40) Отчет по экологической безопасности. АО «Сибирский химический комбинат» 2017. – С. 36.
- 41) Оценка поступлений ртути в окружающую среду с территории Российской Федерации Подготовлено для Совета стран Арктики:

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, Датское агентство по охране окружающей среды, 2005.

42) Парначев В.П., Парначев С.В. Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска: Материалы к полевой геологической экскурсии: Справочное пособие. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2010. – С. 144 .

43) Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – С. 355–369.

44) Популярная библиотека химических элементов. Кн. 2, М.: Наука, 1983. – С. 574.

45) Постановление Администрации Томской области от 16.06.2005 №66. Береговой склон р. Томи между п. Аникино с. Синий Утес и автодорогой Томск – Коларово. 2005

46) Постановление мэра г. Томска от 19.07.99 № 505 : Об утверждении наименований элементов улично-дорожной сети г. Томска, 1999.

47) Посторонние химические вещества молока.

48) Программа ООН по окружающей среде (подпрограмма ЮНЕП по химическим веществам). Руководство по определению и количественной оценке выбросов ртути, 2005.

49) Программа организации объединенных наций по окружающей среде. Подготовка имеющего обязательную юридическую силу глобального документа по ртути. Исследование источников и выбросов ртути и анализ расходов на меры по обеспечению контроля и их эффективности. Пункт 3. 2011.

50) Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И., Барановская Н.В., Волков В.Т., Волкова Н.Н., Архангельский В.В., Архангельская Т.А., Денисова О.А.,

- Шатилов А.Ю., Янкович Е.П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения, 2006. – С. 216.
- 51) Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И., Барановская Н.В., Волков В.Т., Волкова Н.Н., Архангельский В.В., Архангельская Т.А., Денисова О.А., Шатилов А.Ю., Янкович Е.П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения, 2006. – С. 216.
- 52) Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов В.Г. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнений атмосферы//Оптика атмосферы и океана, 2011.– С. 79–83.
- 53) Рогова Н.П. Разработка метода экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами.
- 54) Родионова Е.П., Рогова Н. С., Плужникова Д.А. Закономерности накопления химических элементов лесными наземными мхами
- 55) Русанова Д.В. Закономерности и механизмы поражения периферических нервов при воздействии металлической ртути и комплекса токсических веществ. Ангарск 2005. – С. 179.
- 56) Сальников В.Н., Попов В.К., Мирецкая Н.М. Полевая учебная практика по геологии и почвоведению в окрестностях г. Томска: Учебное пособие / - Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 276 .
- 57) Сауков. А.А . Геохимия ртути. М.,1946 – С.129.
- 58) Свирко Е.В., Страховенко В.Д. Тяжелые металлы и радионуклиды в слоевищах лишайников в Новосибирской области, Алтайском крае и республике Алтай // Сибирский экологический журнал. – 2006. – С.385–390.
- 59) Сводный том предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу г. Томска. – Новосибирск: Государственный комитет по охране окружающей среды Томской области. Сибирский региональный научно-

исследовательский гидрометеорологический институт (СибНИГМИ), 1997. – С. 433.

60) Сергеева М.М. Экологические проблемы городов и здоровье человека / Проблемы геологии и освоения недр, Труды Пятого Международного симпозиума им. Академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященного 100-летию горно-геологического образования в Сибири, Томск: STT, 2001. – С. 636 – 637.

61) СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика".

62) Совместный энциклопедический проект, обеспечивающий доступ к информации о номенклатуре современных (неископаемых) таксонов, относящихся к царству растений. Разработан Королевскими ботаническими садами Кью (Великобритания) и Ботаническим садом Миссури (США), 2013.

63) Страхавенко В.Д., Маликова И.Н., Щерборв Б.Л. Распределение ртути в компонентах окружающей среды Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – С. 117–123.

64) Уроки болезни Минамата и утилизация ртути в Японии. Департамент экологической медицины, Япония. 2013. – С. 74.

65) Экологический паспорт АО «Томскэнерго» Томская ГРЭС-2.

66) Экологический мониторинг. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2016. – С. 140.

67) Якубович Е. А. Использование эпифитных мхов для оценки загрязнения окружающей среды ртутью на примере окрестностей города Томска, 2018. - С. 879-880.

68) Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. Москва 1992. - С. 3-63.

69) ICCSR 26000:2011 «Социальная ответственность организации»

- 70) Ябилат А.Е., Волошин Е.И. Цинк в системе «Почва-растение-человек». 2016. – С. 39-43.
- 71) A. Gerhardt Biondicator species and their use in biomonitoring // LimCo International, Ibbenbüren, Germany
- 72) Bozhenko N. P. Biogeochemical features of epiphytic mosses in recreational zones of Tomsk and its environs. Tomsk, 2018.
- 73) Faculty of Science, Department of Biology Mosses, epiphytic lichens and tree bark as biomonitors for air pollutants – specifically for heavy metals in regional surveys jarmo poikolainen// University of Oulu; The Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Station OULU 2004
- 74) M.Vbalarama ,D.Krishna,, Karunasagar, J.Arunachalam Study of mercury pollution near a thermometer factory using lichens and mosses
- 75) Temporal and spatial trends in Hg deposition monitored by moss analysis // Science of The Total Environment Volume 304, Issues 1–3, 20 March 2003, P. 215-219
- 76) Harry Harmensa, David A.Norrisa Temporal trends (1990–2000) in the concentration of cadmium, lead and mercury in mosses across Europe// Environmental Pollution Volume 151, Issue 2, January 2008, P. 368-376
- 76) Mosses as bioindicators for metal accumulation: Statistical aggregation of measurement data to exposure indices// Ecological Indicators Volume 6, Issue 1, January 2006, P. 137-152
- 77) J.Fernández, R.Aboal, ACarballeira Use of native and transplanted mosses as complementary techniques for biomonitoring mercury around an industrial facility //Science of The Total Environment Volume 256, Issues 2–3, 10 July 2000, P. 151-161
- 78) Persistent organic pollutants in moss as bioindicators of atmospheric pollution in Singapore // Chemosphere Volume 64, Issue 4, July 2006, P. 596-602

79) S.TR.E.A.M., system for trace element assessment with mosses. An equation to estimate mercury concentration in freshwaters // *Chemosphere* Volume 75, Issue 7, May 2009, P. 858-865

80) Mercury in mosses *Hylocomium splendens* B.S.G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from Poland and Alaska: Understanding the origin of pollution sources// *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 73, Issue 6, September 2010, P. 1345-1351

81) Kathryn T.Sutton, Risa A.Cohen, Stephen P.Vives Evaluating relationships between mercury concentrations in air and in Spanish moss (*Tillandsia usneoides* L.) // *Ecological Indicators* Volume 36, January 2014, P. 392-399

82) Moss and lichen biomonitoring of atmospheric mercury// *Science of The Total Environment* Volume 572, August 2016, P.216-231 ·

Нормативно-методические документы

83) ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация/ М.: Стандартинформ, 2017.

84) ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования к безопасности / М.: Стандартинформ, 2007.

85) ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования/ М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.

86) ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты / М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

87) ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов/ М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.

88) ГОСТ 12.1.045–84 Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля/ М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

- 89) ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание/ М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.
- 90) ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования / М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
- 91) ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов, 1996.
- 92) ГОСТ Р 54639-2011. Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии на основе эффекта Зеемана. – М.: Стандартинформ, 2012.
- 93) Международный Комитет по корпоративной социальной ответственности. Социальная ответственность организации. Требования. Международный стандарт IC CSR 26000:2011.
- 94) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий — Введен: 30.06.2003. М.: Издательство стандартов, 2003. – 23 с.
- 95) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. — Введен: 30.06.2003. М.: Издательство стандартов, 2003. – 14 с.
- 96) СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы / М: Госкомсанэпиднадзор, 1996. – 24 с.
- 97) СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений/ М: Госкомсанэпиднадзор, 1996. – 24 с.
- 98) Сборник сметных норм на геологоразведочные работы. ССН. Вып. 2. Геолого-экологические работы. – М.: ВИЭМС, 1993. – 153 с.
- 99) СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение, 1995.
- 100) Федеральный закон от 22.07.2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», 2008.
- 101) Федеральный закон от 28.12.2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», 2013.

Интернет ресурсы)

102) Массовое отравление в Ираке 1971 год [Электронные данные] – URL: <https://fishki.net/mix/2551258-v-konce-1971-go-goda-v-irak-by-la-vvezena-iz-meksiki-partija-zerna-obrabotanno.html> (дата обращения 06.03.2019)

103) Топографическая карта Томского района [Электронные данные] – URL: http://towiki.ru/view/Томский_район_Томской_области (дата обращения 03.03.2019)

104) Построение розы ветров для городов России [Электронные данные] – URL: http://stroydocs.com/info/e_veter (дата обращения 06.03.2019)

Приложение А

Use of mosses for determination of content of mercury in the environment

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ71	Якубович Е.А.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Межибор Антонина Михайловна	Кандидат геолого-минералогических наук		

Консультант – лингвист кафедры отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения ИЯ	Гутарева Н.Ю.	Кандидат педагогических наук		

Bioindicators are defined as organisms or communities of organisms whose reactions are observed to evaluate the well being of an ecosystem, providing clues for the condition of the ecosystem as a whole. Any bioindicator has the particular requirements with regard to a known set of the physical or chemical variables such that change in the presence/absence, numbers, morphology, physiology or behavior of that species indicate that the given physical or chemical variables are outside their preferred limits. Mostly, bioindicators are restrictively defined as the species reacting to the anthropogenic effects on the environment, whereas bioindicators for the "natural" environmental changes and conditions are not much used. However, the general, the all-encompassing definition of a biological indicator would be: "a species or group of species that readily reflects the abiotic or biotic state of an environment, represents the impact of an environmental change on a habitat, community or ecosystem or is indicative of the diversity of a subset of taxa or the whole diversity within an area" [75].

As a result of the anthropogenic activity and a number of the natural sources in the atmosphere, a large the amount of pollutants which have a negative impact on the living organisms can be distinguished. A large amount of heavy metals which are considered to be as pollutants come from the anthropogenic sources, but, in a smaller quantity, they are met too. For example, it is possible to difine volcanoes and wildfires as such sources, as well as the biological decomposition processes. The extent of pollution and volume of the emissions depends on the type of an emission source, structure of the emission and meteorological conditions. Most of the emissions remain close to the source, but some of them can extend to some thousand kilometers. The compounds of sulfur and nitrogen in the atmosphere are in a gaseous phase and heavy metals join their molecules. It is accepted to call the metals with the density exceeding 4.5 g/cm^3 heavy metals. Because the use of this term is criticized, it is possible to call these metals as artificial ones. The qualitative composition of air can be controlled by the measurement of pollutants in the air though their sedimentation as dust, by creation of the models which would allow to observing the distribution of pollutants, or by

using bioindicators. The first model of the measurement gives an objective information about the amount of pollutants, but there is a risk of unestablished pollution in the case of low concentrations. The following model provides us with information of pollution in a wide area, and can be used for the obtaining forecasts of air quality in the future. It should be noted that the accuracy depends on the qualitative data which is used at the design of model. Bioindicators provide information on the amount of pollutants in the environment and about their impact. This method is considered fast and inexpensive, but it gives rather an approximate picture of air quality and amount of the pollutants.

Besides the classification of the reactions, organisms are classified by their origin on active bioindicators, which are populated in the studied zone within a certain controlled period and on their passive reactions traced and studied in their habitat.

The high-quality of a bioindicator is considered to be such indicator which is capable of accumulating pollutants in various conditions. A pollutant has to be measured easily, and measurements have to give information on the sedimentation level. In addition, it is necessary to consider limits of the risk caused increase in level of the pollutants. The used bioindicators have to be rather widespread and to be available for sampling during the whole year in the study area. It has to be based on the standard methods of sampling and analysis. For the definition of the state of an ecosystem in relation to the studied pollutant, the background values of the studied area have to be defined. As background level is considered to be the natural level at which the emissions have the smallest impact. The background level of the pollution is established to depend on plant species. Mosses and lichens are the best plants for use as air pollution bioindicators. Bark of trees also has a broad application, for example for air quality in estimation of the industrial and urbanized territories [76].

Vegetation uptake of atmospheric mercury (Hg) is an important mechanism enhancing atmospheric Hg deposition via litterfall and senescence. The significant spatial differences were observed in bulk vegetation Hg concentrations at Toolik

Field station ($52 \pm 9 \mu\text{g kg}^{-1}$), Eight Mile Lake Observatory ($40 \pm 0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$), and seven sites along a transect from Toolik Field station to the Arctic coast ($36 \pm 9 \mu\text{g kg}^{-1}$). There is a report regarding Hg concentrations and the pool sizes of different plant functional groups and the plant species across nine tundra sites in northern Alaska. Hg concentrations in non-vascular vegetation including feather and peat moss ($58 \pm 6 \mu\text{g kg}^{-1}$ and $34 \pm 2 \mu\text{g kg}^{-1}$, respectively) and brown and white lichen ($41 \pm 2 \mu\text{g kg}^{-1}$ and $34 \pm 2 \mu\text{g kg}^{-1}$, respectively), were three to six times those of vascular plant tissues ($8 \pm 1 \mu\text{g kg}^{-1}$ in dwarf birch leaves and $9 \pm 1 \mu\text{g kg}^{-1}$ in tussock grass). A high representation of the nonvascular vegetation in aboveground biomass resulted in substantial Hg mass contained in tundra aboveground vegetation ($29 \mu\text{g m}^{-2}$), which fell within the range of foliar Hg mass estimated for the forests in the United States (15 to $45 \mu\text{g m}^{-2}$) in spite of much shorter growing seasons [77].

Hg stable isotope signatures of different plant species showed that atmospheric Hg(0) was the dominant source of Hg to tundra vegetation. Mass-dependent isotope signatures (^{202}Hg) in vegetation relative to atmospheric Hg(0) showed pronounced shifts towards lower values, consistent with previously reported isotopic fractionation during foliar uptake of Hg(0). The mass-independent isotope signatures (^{199}Hg) of lichen were more positive relative to atmospheric Hg(0), indicating either photochemical reduction of Hg(II) or the contributions of inorganic Hg(II) from atmospheric deposition and/or dust. ^{199}Hg and $\Delta^{200}\text{Hg}$ values in vascular plant species were similar to atmospheric Hg(0) suggesting that overall photochemical reduction and subsequent re-emission was relatively insignificant in these tundra ecosystems, in agreement with previous Hg(0) ecosystem flux measurements [78].

Mosses are a large group of the vegetables, including more than 18000 species. Mosses are representatives of higher plants. Their main difference from the lower plants such as algae and lichens, is that the body of the majority of mosses is represented by the shoot, consisting of a stem and leaves; the smallest number of mosses has a body, represented by a thallome. In addition to its

structure, mosses have numerous microscopic features, including the presence of a kind of arranged gametophyte (gametal cells). A distinctive feature is the correct alternation in the normal cycle of plant development of two generations different in their morphology. One generation is called the gametophyte (the plant that produces the sex elements — gametes), the other is the sporophyte (the plant that produces the elements of asexual reproduction — spores).

Distribution and other features of life of mosses directly depend on a large number of the environmental factors, such as: humidity, light, temperature, composition and movement of air flows, chemical and mechanical composition of the substrate on which they grow, the direct and indirect effects of living organisms. For their existence, as for as for other green plants, mosses need a sufficient amount of light. During their long existence on the Earth, the mosses managed to adapt to life in different places. They were able to successfully grow in places with constant excessive moisture (for example, ditches with water, the shores of lakes and streams), and the features they have developed allow the mosses to live in cold and temperate climates often displacing most of the higher plants growing in these places. Sphagnum mosses, having a kind of an internal structure and chemistry, have the ability to accumulate excess of moisture and, releasing and acidifying it, negatively affect the plants living nearby. They were also able to adapt to life on the substrates that do not have free water. For example, on the bark of trees and rocks. Joining with rhizoids to the substrate, mosses get the necessary moisture from the atmosphere, and the lack of precipitation leads to severe drying and loss of almost all the water contained in them. After falling rain or dew plants quickly absorb water, come to life and continue to exist. The method of moss as bioindicators has been used on a regular basis for the last 30 years by the Nordic countries to monitor the deposition of heavy metals in large areas, and recently the countries of Western Europe use mosses to monitor the environment. This method initially became known only in the industrial areas in Russia, but now the mosses are used as bioindicators of the environmental pollution everywhere.

When using mosses as bioindicators the spatial and temporary features of sedimentation of mercury were established, and analyzed by means of similar results of the researches of 1985, 1990 and 1995 years. In 2000 in Norway the national researches of sedimentation of heavy metals from the atmosphere were conducted. The research was based on sampling of naturally growing plumose moss on 500 sites on all the territory of the country. AAS cold steam (till 2000) or atomic and fluorescent spectrometry was applied to determination of quantity and concentration of mercury after digestion of HNO₃ of the samples of moss (1995 - 2000). Unlike the damp sedimentation of mercury and some other heavy metals in Norway the concentration of mercury found in mosses had no considerable gradient in the North-South direction. Such a result can be explained with a considerable intake of mercury in mosses as a result of dry sedimentation of Hg⁰ in addition to deduction of Hg²⁺ in damp sedimentation. It is possible to make the assumption that the cool summer climate average and northern parts of the country, explains that the part of the accumulated mercury withheld in a moss is not lost as a result of the repeated volatilization. If the concentration and spatial distribution of mercury in mosses in 1985-1995 differed only slightly, then by data received in 2000 concentration became 30% lower. The scientific the explanation of this a difference was not offered [79].

A large-scale research into the content of 10 heavy metals in mosses was carried out in Europe. The research carried out in 1990-2000 aimed to determine spatial distribution and to establish the concentration of heavy metals. As a result, the temporal trends characteristic of these metals in various countries were established and analyzed. In this period, the concentration of cadmium and lead in mosses was observed to decrease; it should be noted that the concentration of lead was higher than that of cadmium. The concentration of mercury changed insignificantly but in 1995-2000 it was observed to change in mosses growing in the European countries. The observed temporal trends of concentration of heavy metals in mosses were similar to those specified for the general sedimentation of cadmium, lead and mercury in Europe [80].

The accumulation of heavy metals was investigated in Germany in 1990-2000. Ectohydric mosses were used as bioindicators. The following empirical aspects in the field of monitoring of mosses were described: sampling of mosses, design of the studied area for monitoring, and the chemical analysis. Based on the data on accumulation of heavy metals in the specifically studied area, spatial distribution was calculated. These data are reliable and can be applied to the whole territory of Germany. The obtained data on heavy metals were transformed into statistical indexes, and two aggregation procedures were employed. The cluster analysis shows categories of various ranges of accumulation at the regional level. This enables the research in the case of invariable quantity and quality of emissions throughout a long period of time. The second approach is based on the percentile statistics and provides the ranged or serial indexes that give exact representations about the spatial and temporal trends of accumulation of the metals [81].

In 2000 in Spain mosses were investigated as bioindicators. The moss cover was represented by the local mosses. Passive and active methods of monitoring were employed to establish and demonstrate the compatibility of these methods through a detailed research of spatial distribution of mercury near the soda-chlorine plant. Various environmental conditions, for example, the average temperature, amount of rain, and wind in two different seasons, were considered to obtain more accurate results. After sampling, the mosses were exposed to various conditions (within one month). The concentration of mercury in the studied samples (local mosses) changed in the ranges of 0.04-11.78 mkg g^{-1} in February, 0.26-12.7 mkg g^{-1} in September, 0.036-2.75 mkg g^{-1} in November, and 0.39-1.9 mkg g^{-1} in June. The obtained values were in the ranges specified in literature available.

The general concentration is transformed to the contamination factors (CF) (with regard to the background level of mercury in local mosses), or to enrichment factors (EF) (when considering the initial concentration in the replaced samples). Irrespective of season of sampling, in both cases a clear relationship with the distance from the soda-chlorine plant was established. In the studied territories inhabited by two species of mosses, CF and EF indicators correlated significantly.

This is due to the fact that the replaced species growing in close proximity to a plant, where the density of local mosses is quite low, can be used to determine the degree of contamination. This research showed that local mosses were likely to adapt to environmental conditions since CF value for local mosses decreased to 1 at the same distance (> 500 m) from the source of contamination [82].

In 2006, the scientists identified the persistent organic pollutants in the mosses used as bioindicators of atmospheric pollution in Singapore. Moss samples were collected from the island of Singapore and analyzed for a range of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs). Although all the compounds analyzed have been banned from use in Singapore, they were detected in all samples collected. Among the hexachlorocyclohexanes (HCH), β -HCH was the most dominant isomer, while trans-chlorane was found to be the most dominant cyclodiene pesticide. High levels (79.12 ng g⁻¹) of PCBs were detected in mosses collected from a nearby island due to active accumulation of pollutants associated with boat emissions. Significant spatial variations in the levels of organic pollutants in Singapore were largely absent, indicating that air masses moving over the island deposit OCPs and PCBs in a uniform pattern. A comparison of moss pollutant levels with available data from Czech Republic showed that dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE), dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and PCB levels in Singapore significantly exceed the background values [83].

In 2009, a system for the assessment of the trace elements in mosses was established in Italy. There is an equation for estimation of mercury concentration in fresh waters. One hundred experiments on bioaccumulation of mercury from the aquatic moss *Rhynchostegium riparioides* C. E. O. Jensen transplanted in laboratory conditions were conducted to measure metal uptake with increasing water concentrations (0.25 to 128 $\mu\text{g Hg}^{2+} \text{ L}^{-1}$) and increasing exposure time (24-189 h), effect of pH (6.3–8.5) and water concentration Na (3-114 mg l⁻¹), CA (62-125 mg l⁻¹) and Mg (13-54 mg l⁻¹) metal uptake, to develop a database for mathematical and statistical analysis, and to create the equation for the absorption

simulation. Linear absorption was observed for water concentrations $\approx 4 \mu\text{g Hg}^{2+}$ L⁻¹, while the saturation curve was observed at higher concentrations. Absorption was accompanied by a three-stage tendency to increase exposure time: the phase of rapid accumulation (4-5 days), the equilibrium plateau (2-3 days), and the second phase of accumulation. The study of the influence of factors showed that changes in pH or concentration of alkali metals in water within the typical values in fresh waters of non-Italy do not give significant differences ($P > 0.05$) in terms of mercury absorption ($0.496 \times 10^5 \leq \text{bio accumulation coefficient} \leq 1.73 \times 10^5$). Based on a database of 28 Hg concentrations in mosses exposed to 0.25-4 $\mu\text{g Hg}^{2+}$ L⁻¹ for 24-114 h, a mathematical equation was developed to estimate Hg micro contamination in water. The difference between predicted and actual concentrations was generally within the range of $\pm 50\%$ [84].

The background concentrations of mercury in mosses in 2010 were considered for Kielce and Holi-Kross (the southern Poland), for the National park and the Wrangel-Saint-Elias reserve (Alaska), and for the National park and the reserve of Denali (Alaska). When studying mosses as mercury bioindicators in a number of the European countries, Polish mosses showed obvious excesses of mercury that indicates cross-border atmospheric transfer in combination with local emissions from anthropogenic sources. On the contrary, mosses of Alaska showed lower levels of mercury, generally the cornerstone geology. In comparison to Holi-Kross, mosses of Alaska and Kielce showed more uneven distribution of mercury. These results are connected with topography and location of local anthropogenic sources (Kielce) and the cornerstone geology. Bioaccumulative potentials of mercury similar to those described by P. Chiya and P. Shreber were observed in all the areas studied [85].

The relationship between mercury concentrations in air and in Spanish mosses was studied in 2014. Measurement of mercury vapor is essential since it is transported all over the world, and after all it can turn into methylmercury, a dangerous neurotoxin. The research was carried out in the southeastern Georgia and northern Florida to determine whether Spanish moss, an epiphytic vascular

plant common to the southeastern United States, has the ability to retain mercury in its tissues over time, and to detect atmospheric mercury at relatively low concentrations from nonpoint sources. Spanish mosses exposed to 10× and 100× ambient concentrations of mercury vapor increased the tissue concentrations by $13.7 \pm 11\%$ and $74.1 \pm 17\%$ respectively, and then retained mercury over two weeks after the removal from the source. The mercury concentration tended to increase in Spanish mosses while the air concentration across urban, rural inland, coastal and industrial areas grew up. The transplanted Spanish mosses growing in a close proximity to the industrial site contaminated with mercury exhibited a $164.8 \pm 8.7\%$ increase in mercury concentration after two weeks. Mercury concentration in Spanish mosses transplanted to rural inland areas also increased after two weeks, while the change in transplant concentration in coastal areas was variable. This research showed that Spanish mosses exhibit characteristics important for their use as bioindicators of atmospheric mercury, and can potentially be adapted as a tool for obtaining time-integrated atmospheric mercury data in addition to the existing atmospheric mercury monitoring programs [86].