

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 05.04.06 Экология и природопользование  
Отделение школы (НОЦ) отделение геологии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Содержание ртути в хвое голосеменных растений как индикатор геоэкологической обстановки (Сибирь и Дальний Восток)</b>

УДК 546.49:581.45.582.47(571)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ61	Шворнева Елена Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Филимоненко Екатерина Анатольевна	Кандидат геолого-минералогических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Содержание и особенности накопления ртути в хвое голосеменных растений на территории Сибири и Дальнего Востока»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИМКЭС СО РАН г. Томска	Ляпина Елена Евгеньевна	Кандидат геолого-минералогических наук		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Макашева Юлия Сергеевна			

По разделу «Социальная ответственность специалиста при проведении геоэкологических работ по изучению биологического материала животных и человека»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Абраменко Никита Сергеевич			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 05.04.06 «Экология и природопользование»  
Уровень образования магистратура  
Отделение школы (НОЦ) отделение геологии  
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.02.2018	<i>Литературный обзор</i>	10
30.03.2018	<i>Материалы и методы исследований</i>	10
30.04.2018	<i>Содержание и особенности накопления ртути в хвое голосеменных растений на территории Сибири и Дальнего Востока</i>	10
15.05.2018	<i>Социальная ответственность</i>	10
15.05.2018	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Филимоненко Екатерина Анатовна	Кандидат геолого- минералогических наук		

**СОГЛАСОВАНО:**

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

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 05.04.06 Экология и природопользование  
 Отделение школы (НОЦ) отделение геологии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Барановская Н.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2ГМ61	Шворневой Елене Валерьевне

Тема работы:

<b>Содержание ртути в хвое голосеменных растений как индикатор геоэкологической обстановки (Сибирь и Дальний Восток)</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	21.03.2018, №1980/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Литературные материалы, результаты собственных исследований по содержанию ртути в хвое, а также данные исследований ИМКЭС СО РАН (Ляпина, 2009) в области ртутного мониторинга природных сред Томского региона, Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор</li> <li>2. Материалы и методы исследований</li> <li>3. Содержание и особенности накопления ртути в хвое голосеменных растений на территории Сибири и Дальнего Востока</li> <li>4. Социальная ответственность</li> <li>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Содержание и особенности накопления ртути в хвое голосеменных растений на территории Сибири и Дальнего Востока	Ляпина Елена Евгеньевна

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Макашева Юлия Сергеевна
Социальная ответственность специалиста при проведении геоэкологических работ по изучению биологического материала животных и человека	Абраменко Никита Сергеевич
Раздел на иностранном языке	Матвеевко Ирина Алексеевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Characteristic of mercury and its sources	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Филимоненко Екатерина Анатольевна	Кандидат геолого- минералогических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ61	Шворнева Елена Валерьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ГМ61	Шворневой Елене Валерьевне

<b>Школа</b>	Природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Геологии
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	Направление/специальность	Экология и природопользование

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – хвоя голосеменных растений, а также данные, полученные при анализе методом атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью ртутного анализатора РА-915+ с пиролитической приставкой «ПИРО-915». Рабочее место расположено в лаборатории (529-530 ауд.) на пятом этаже здания (20 корпус ТПУ, Ленина 2/5, г. Томск), имеют естественное и искусственное освещение. Естественное освещение осуществляется через световые проемы (окна), искусственное освещение осуществляется системой общего равномерного освещения. Площадь на одно рабочее место с ПК с жидкокристаллическим монитором составляет не менее 4,0 м<sup>2</sup>, а объем на одно рабочее место – не менее 10 м<sup>3</sup>.</p>
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>Показатели микроклимата в помещении. Перечень мероприятий, направленных на ликвидацию причин травматизма при эксплуатации ПК. Естественное искусственное освещение в помещении, норма освещенности рабочего места. Наличие средств противопожарной защиты в данном помещении. Вредные факторы: отклонение показателей микроклимата в помещении; недостаточная освещенность рабочей зоны; степень нервно-эмоционального напряжения.</p>
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>Электробезопасность. Источники: электрооборудование и электроприборы (ПК). Средства защиты: электроизолирующие провода, заземление и зануление. Опасные факторы производственной среды: электрический ток.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность</b></p>	<p>В ходе исследования было проанализировано 320 проб, каждая из которой имеет сухую массу не более 15 г. При анализе проб методом атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью ртутного анализатора РА-915+ с пиролитической приставкой «ПИРО-915» навеска хвои берется в пределах 40-50 мг и сжигается до пепла. Таким образом, изучение проб хвои не несет вред окружающей среде (атмосфере, гидросфере, литосфере).</p>

<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС – пожар в здании. Наличие конструктивных и объёмно-планировочных решений, препятствующих распространению опасных факторов пожара по помещению; ограничения пожарной опасности строительных материалов, используемых в поверхностных слоях конструкции здания, в том числе кровель, отделок и облицовок фасадов, помещений и путей эвакуации; наличие первичных, в том числе автоматических и привозных средств пожаротушения; сигнализация и оповещение о пожаре.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны проводятся в соответствии с планом проведения этапов исследовательской работы, с учетом требований и стандартов к организации рабочего места.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Абраменко Никита Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ61	Шворнева Елена Валерьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ГМ61	Шворнева Елена Валерьевна

<b>Школа</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Геологии</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Экология и природопользование

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</li> <li>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</li> <li>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературные источники;</li> <li>2. Методические указания по разработке раздела;</li> <li>3. Сборник сметных норм на геолого-экологические работы.</li> </ol>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет работ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>2. Расчёт затрат времени и труда по видам работ</li> <li>3. Нормы расхода материалов</li> <li>4. Общий расчет сметной стоимости</li> </ol>
--	---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Макашева Юлия Сергеевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ГМ61	Шворнева Елена Валерьевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 102 страницы, 24 рисунка, 19 таблиц, 120 источников, одно приложение.

Ключевые слова: ртуть, хвоя, кедр сибирский, сосна обыкновенная, пихта сибирская, ель сибирская, можжевельник обыкновенный, кедровый стланик, лиственница, фоновые территории, Томская область, Томский район, Алтайский край, Иркутская область, Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия).

Объектом исследования является хвоя: кедр сибирского (*Pinus sibirica*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), ели сибирской (*Picea obovata*), можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), кедрового стланика (*Pinus pumila*) и лиственницы (*Larix*).

Цель работы – исследование содержания и особенностей накопления ртути в хвое голосеменных растений на территориях Сибири и Дальнего Востока.

Содержание ртути в хвое определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью ртутного анализатора РА-915+ с пиролитической приставкой «ПИРО-915».

В результате исследования выявили особенности накопления ртути в зависимости от возраста, вида дерева, ландшафтных и климатических условий. Определили среднее содержание ртути в хвое Томской области (23 нг/г), Алтайского края и Республики Бурятия (15 нг/г), Иркутской области (14 нг/г), Республики Саха (47 нг/г).

Полученные данные могут найти применение при оценке экологического состояния как урбанизированных, так и фоновых территорий

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.



## Содержание

	С.
Введение	4
1 Общие сведения	8
1.1 Общая характеристика ртути	8
1.2 Распространение ртути	10
1.2.1 Источники поступления ртути в компоненты окружающей среды	10
1.2.2 Содержание ртути и ее соединений в окружающей среде	12
2 Материалы и методы исследований	21
2.1 Характеристика территорий исследования	21
2.2 Фактический материал, отбор проб	29
2.3 Аппаратное и методологическое обеспечение исследований	31
3 Содержание и особенности накопления ртути в хвое голосеменных растений на территории Сибири и Дальнего Востока	34
3.1 Среднее содержание ртути в хвое голосеменных растений на территории Сибири и Дальнего Востока	34
3.2 Содержание ртути в хвое в зависимости от вида голосеменных растений	35
3.3 Содержание ртути в зависимости от возраста хвои голосеменных растений	38
3.4 Содержание ртути в хвое голосеменных растений в зависимости от ландшафтных условий	42
3.5 Содержание ртути в хвое голосеменных растений в зависимости от климатических характеристик	46
3.6 Геоэкологические характеристики содержания ртути в хвое голосеменных растений Сибири и Дальнего Востока	49
4 Социальная ответственность при исследовании содержания ртути в хвое голосеменных растений	52

4.1	Производственная безопасность	53
4.1.1	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	53
4.1.2	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	58
4.2	Экологическая безопасность	61
4.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	61
4.4	Законодательное регулирование проектных решений	62
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	64
5.1	Технико-экономическое обоснование продолжительности и объема работ	64
5.2	Расчет затрат времени и труда по видам работ	66
5.3	Нормы расхода материала	67
5.4	Расчет амортизационных отчислений	68
5.5	Общий расчет сметной стоимости	68
	Заключение	71
	Список использованных источников	73
	Приложение А Characteristic of mercury and its sources	86

## Обозначения и сокращения

ЮНЕП (англ. UNEP, United Nations Environment Programme) - Программа ООН по окружающей среде;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

т. м. – торфяное месторождение;

БЗЛ - заболоченный лес «Бакчарского» болота;

БВР - высокий рям «Бакчарского» болота;

БНР - низкий рям «Бакчарского» болота;

БОТ - открытая топь «Бакчарского» болота;

СЭБ - «Самарское» эвтрофное болото;

СЭБ бр – берег реки вдоль «Самарского» эвтрофного болота;

ВДК – временно допустимая концентрация.

## Введение

В настоящее время остро стоит проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях [60], а также способность к биоаккумуляции требует экологического мониторинга и контроля содержания тяжелых металлов в компонентах окружающей среды. Ртуть признана глобальным загрязнителем окружающей, обладающим широким спектром негативного воздействия на биоту и экосистемы [30, 36, 56, 71].

Кроме того, в 2013 г. под эгидой ЮНЕП согласован текст Конвенции по ртути (Конвенции Минамата), в котором предусмотрена организация мониторинга ртути. Выделены главные направления мониторинга, обязательно включающие в себя:

- Фоновый мониторинг атмосферной ртути: воздух, атмосферные выпадения.
- Мониторинг выбросов в атмосферу и высвобождений в воды и на землю от стационарных источников.
- Мониторинг загрязненных участков.

В данной работе проведены исследования на относительно фоновых территориях, на которые напрямую не воздействуют промышленные предприятия. Полученные данные могут служить для:

- ✓ оценки региональной и глобальной эмиссии и осаждения ртути,
- ✓ основы моделирования и прогноза сценариев антропогенной нагрузки,
- ✓ инструмента оценки эффективности предпринимаемых в России мер по сокращению выбросов [116].

Исследования по содержанию ртути в растениях по литературным данным, как в РФ, так и за рубежом, представлено в основном изучением мхов, лишайников, грибов, реже голосеменных растений. Растения способны не только аккумулировать ртуть до весьма высоких концентраций, но и

выделять ее обратно в атмосферу [56]. Изучение содержания ртути в хвое позволит оценить степень ртутной нагрузки на территории Сибири и Дальнего Востока. Выявить особенности накопления ртути в зависимости от вида дерева, возраста хвои, климатических и ландшафтных характеристик исследованных территорий. Хвоя является практичным и информативным биоиндикатором экологического состояния атмосферного воздуха. Кроме того, хвоя участвует в формировании почвенного покрова, а накопленные ею химические элементы формируют состав почвы, поверхностных и подземных вод [27]. Витаминная добавка из хвои в корм крупного рогатого скота активно используется фермерскими хозяйствами Сибирского региона. Поэтому изучение содержания ртути, как тяжелого металла и элемента первого класса опасности в хвое, является важным и необходимым с потребительской точки зрения.

**Целью работы** является исследование содержания ртути в хвое голосеменных растений на территории Западной Сибири (Томская область и Алтайский край), Восточной Сибири (Иркутская область и Республика Бурятия) и Дальнего Востока (Республика Саха (Якутия)).

**Для достижения заданной цели были поставлены следующие задачи:**

1 изучить свойства ртути и ознакомиться с её распространением в окружающей среде;

2 охарактеризовать районы исследования и описать метод изучения ртути в хвое;

3 определить содержание ртути в хвое исследуемых регионов и выявить особенности накопления в зависимости от вида дерева, возраста хвои, климатических и ландшафтных характеристик исследованных территорий.

**Практическая значимость работы.** Результаты работы по определению влияния ртути на голосеменные растения и её содержания в них на территории Сибири и Дальнего Востока могут представлять интерес

для органов и организаций экологического контроля этих регионов. Полученные данные можно применить при оценке экологического состояния как урбанизированных, так и фоновых территорий.

**Научная новизна.** Впервые получены данные по содержанию ртути в хвое фоновых территорий Иркутской области и Республики Бурятия, Республики Саха (Якутия). Проведен сравнительный анализ ртутной нагрузки на территорию Сибири и Дальнего Востока. Рассмотрена динамика накопления ртути в хвое Томской области. Выявлены особенности накопления ртути в хвое в зависимости от вида дерева, возраста хвои, климатических и ландшафтных характеристик исследованных территорий.

## Глава 1. Общие сведения

### 1.1 Общая характеристика ртути

Ртуть (Hg) – химический элемент II группы шестого периода периодической системы А.И. Менделеева, с порядковым номером 80 и атомным весом 200,59.

Ртуть обладает следующими физическими свойствами:

1 В обычных (комнатных) условиях ртуть имеет агрегатное состояние летучей бело-серебристой жидкости. При температуре выше плюс 25°C переходит в пары. В твердом состоянии ртуть представляет собой бесцветные кристаллы.

2 Является диамагнитом.

3 Растворима в диоксане, бензоле, кристаллы - в воде.

4 Эластична, является теплопроводным элементом, обладает хорошей ковкостью [21].

Благодаря отрицательной температуре плавления ртути минус 38,83°C её относят к взрывоопасным веществам. Кипение идет при температуре плюс 356,7°C. Процесс перехода в парообразное состояние происходит при комнатной температуре плюс 25°C. Испарение с дополнительной конвекцией происходит намного быстрее, чем в неподвижном воздухе, особенно если ртуть находится в состоянии рассеянной взвеси [64].

Химические свойства. Имея разную окислительную степень, ртуть образует такие химические соединения, как гидроксиды и оксиды; сульфаты и сульфиды; хлориды; нитраты; металлоорганические вещества. С металлами ртуть образует интерметаллические соединения – меркуриды и амальгамы. Стойкими к амальгамированию металлами являются ванадий, молибден, вольфрам, ниобий, тантал и железо. За счет температуры плавления ртуть может образовывать как жидкие, так и твердые амальгамы. При таких соединениях металлы перестают быть активными и становятся инертны. Реакция с кислородом протекает медленно и лишь при температуре свыше

плюс 300°C, в итоге образуется HgO - оксид ртути (II). В обычном виде со щелочами, неокисляющими кислотами и водой в реакцию металл не вступает. С галогенами реакция протекает медленно и только на холоде [30, 54].

Таким образом, ртуть обладает рядом уникальных свойств, представленных в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - 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.	356,7
Плотность, г/см <sup>3</sup> , при 20°C	13,546
Твердость	жидкость
Степени окисления	+1, +2

Токсикологические свойства ртути и её соединений. По ГОСТ 17.4.1.02-83 «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения» ртуть является чрезвычайно опасным химическим веществом и относится к первому классу опасности. В рамках «Санитарно-эпидемиологическим требованиям к атмосферному воздуху» максимальное содержание ртутных соединений не должно превышать 0,0003 мг/м<sup>3</sup>. Ядовитой ртуть является только в растворимых соединениях и в состоянии паров. Вдыхание воздуха с частицами ртути приводит к её накоплению в организме, но, чтобы получить опасную долю ртути, необходимо длительно и регулярно находиться в помещении с высоким содержанием этого металла в воздухе. Внутрь организма ртуть проникает через оболочку слизистой; покровы кожи; дыхательные пути; органы пищеварения. Попав внутрь, пары ртути включаются в общий кровоток и становятся участниками синтеза белковых молекул. Основное накопление и хранение опасного металла происходит в печени и костях, откуда ртутные соединения могут включаться



в процессы обмена веществ, вызывая интоксикацию организма [28]. Процесс очищения организма от ртути происходит довольно медленно и возможен при наличии катализаторов и адсорбентов (например, молока). При концентрации ртути в пределах от 0,001 до 0,005 мг/м<sup>3</sup> способна приводить к тяжелым хроническим заболеваниям. Предел для острой интоксикации составляет 0,13-0,80 мг/м<sup>3</sup> [18, 75].

Ртутьорганические соединения являются чрезвычайно токсичными, к ним относятся: гранозан, церезаны, фенилмеркурацетат, мертиолат и другие. Эти соединения относительно летучи и являются сильнейшими ядами для возбудителей болезней растений и теплокровных животных, именно поэтому ряд стран запретило их применение. Поступая в природную среду, ртутьорганические пестициды разлагаются с образованием летучих компонентов (часть из которых токсична) и металлической ртути [30, 36, 49].

Таким образом, Hg является уникальным и очень опасным химическим элементом, вредным и токсичным даже при низких концентрациях. Данный химический элемент разнообразен в своих агрегатных состояниях, что затрудняет его изучение, который встречается во всех средах и типах окружающей среды.

## 1.2 Распространение ртути

Ртуть относится к числу редких элементов. Её содержание в земной коре составляет 0,03-0,09 мг/кг. Масса ртути, находящейся на поверхности земной коры это всего лишь 0,02% от общей массы в 100 млрд. тонн (табл. 1.2). Остальная часть ртути находится в состоянии крайнего рассеяния, большая часть в горных породах, основной из которых является - киноварь HgS.

Таблица 1.2 - Кларки содержания ртути в лито-, био- и гидросферах Земли, % масс [36].

Литосфера	$8,2 \cdot 10^{-6}$
Биосфера	$4 \cdot 10^{-6}$
Гидросфера	$2,6 \cdot 10^{-7}$
Почва	$1 \cdot 10^{-6}$
Растения	$5 \cdot 10^{-7}$
В золе растений	$7 \cdot 10^{-9}$
Живое вещество	$3 \cdot 10^{-9}$
Поверхностные воды	$1,7 \cdot 10^{-8}$

Концентрация ртути в Мировом океане составляет около 0,03 мкг/л, это примерно 41,1 млн. тонны. Ртутное загрязнение, обусловленное деятельностью человека, и природное содержание ртути, позволяют разделить окружающую среду на зоны техногенных загрязнений и общий геохимический фон [3].

### 1.2.1 Источники поступления ртути в компоненты окружающей среды

Существуют два вида источников, из которых ртутные соединения поступают в окружающую среду это - природные и антропогенные. Природные источники в свою очередь можно подразделить на глобальные, региональные и локальные. К глобальным относятся продукты извержения вулканов и частицы, образующиеся при выветривании горных пород, а также мировой океан, учитывая все подземные и поверхностные воды земли. К

региональным источникам относят крупные месторождения рудных пород, содержащих ртуть. В роли локальных источников выступают только отдельные небольшие рудные поля [55].

В ходе современных исследований по изучению ртути было выявлено её высокое содержание в мантии Земли. В результате процесса дегазации и естественного испарения ртути из горных пород, почв, вод, наблюдается явление, которое называют «ртутным дыханием Земли» или природной эмиссией. Все эти процессы протекают непрерывно и усиливаются при извержениях вулканов, землетрясениях, геотермальных явлениях и т. п. Поступление ртути в окружающую среду в результате «ртутного дыхания Земли» составляет около 3000 тонн в год. Еще одним источником выброса ртути в атмосферу является техногенная эмиссия, в результате которой, благодаря промышленной деятельности человека, выбрасывается порядка 3600-4500 тонн в год [26].

Антропогенные источники делятся на три категории. К первой группе относятся антропогенные выбросы, происходящие в результате мобилизации ртутных примесей сырьевых материалов. Во вторую группу входят антропогенные выбросы, связанные с намеренным применением ртути в технологических процессах или конечном продукте, то есть выбросы во время производства, утечек и т.п. Третью группу источников составляют выбросы при повторной мобилизации ртути, отложившейся в почвах, водных объектах, осадках, погребенных отходах и мусорных свалках.

Ртуть и ее соединения находят широкое применение в различных отраслях промышленности, медицине, сельскохозяйственном производстве (рисунок 1.1).

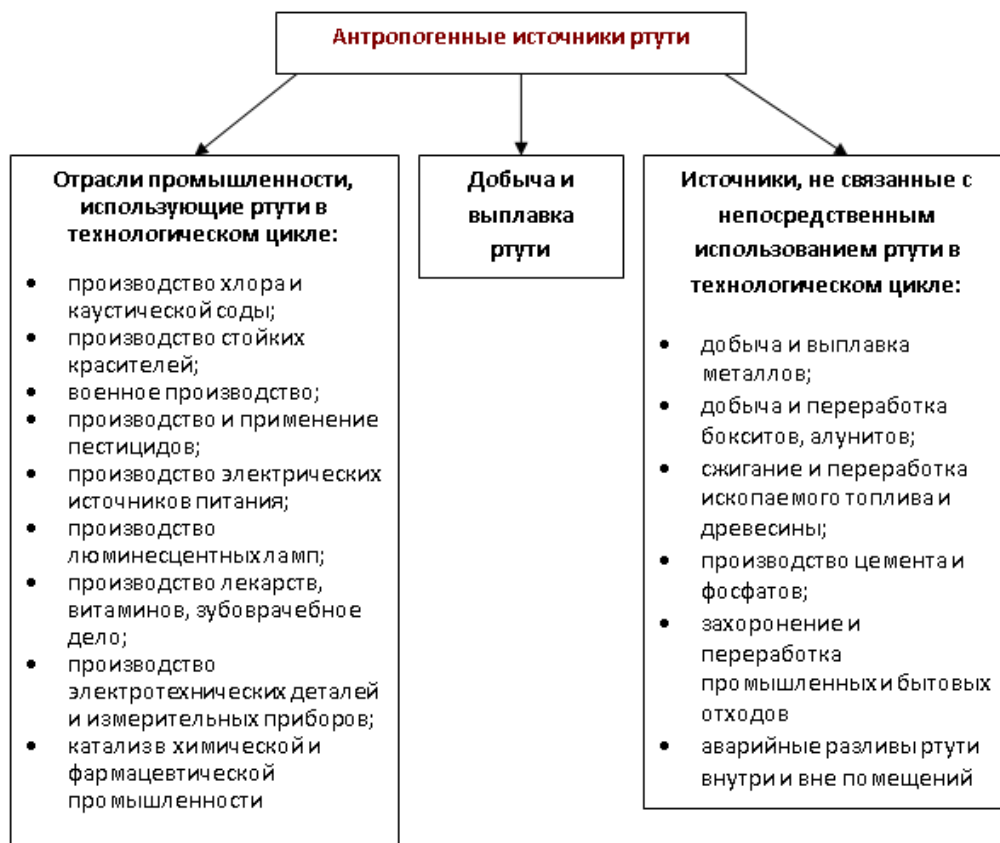


Рисунок 1.1 - Антропогенные источники поступления ртути в окружающую среду [46]

### 1.2.2 Содержание ртути и ее соединений в окружающей среде

В приземном слое **атмосферного воздуха** концентрации паров ртути обычно составляют 10-15 нг/м<sup>3</sup> при колебаниях от 0,5-1,0 до 20-25 нг/м<sup>3</sup>, такое содержания является практически безопасным для живых организмов. В зонах загрязнения показатели концентрации увеличиваются в несколько десятков и сотен раз, а в производственных или загрязненных ртутьсодержащими элементами помещениях наблюдаем максимально высокие значения до 1-5 мг/м<sup>3</sup>. В атмосфере ртуть чаще встречается в форме паров самого металла (Hg<sup>0</sup>), в меньшей степени ртутные органические и неорганические соединения (хлориды, йодиды). При соединении ртути с аэрозолями, в зонах загрязнения её концентрации в дождевой воде достигает 0,3-0,5 мкг/л и даже более, тогда как при фоновых показателях должна быть

не более 0,1 мкг/л. В мегаполисах увеличивается количество ртути, переносимой с аэрозолями и атмосферной пылью [30, 36, 70, 72].

От типа природных **почв** зависят фоновые уровни ртути, но средние показатели изменяются в пределах 0,01-0,10 мг/кг. Для песчаных почв характерны нижние пределы, для почв, богатых органическим веществом - верхние. Превышающие значения вызваны загрязнением окружающей среды. В этих зонах уровни ртути, особенно в верхних горизонтах почв, увеличиваются в несколько десятков и сотен раз, а порой и даже в тысячи. В почвах ртуть активно накапливается в гумусе, глинистых частицах, может проникать вниз по почвенному профилю и поступать в грунтовые воды, поглощаться растительностью, в том числе сельскохозяйственной, а также выделяться в виде паров и в составе пыли в атмосферу. При сильном загрязнении почв концентрации ртути в воздухе могут достигать опасных для человека величин [36, 57].

Загрязнение почвы ртутью оценивается вблизи источника загрязнения, а доступность ртути - по степени ее поглощения растениями. По валовому содержанию Hg в почве нельзя утверждать о степени ее поглощения растениями, т.к. доступность микроэлемента зависит от многочисленных факторов, среди которых кислотность, количество органического вещества и карбонатов в почве [4, 5, 19, 26].

В **поверхностных водах** ртуть перемещается в двух основных фазовых состояниях – в растворённом и взвешенном. В растворённом (растворе вод) она может находиться в виде двухвалентного иона, гидроксида ртути, комплексных соединений (с хлором, органическим веществом и др.). Среди соединений ртути (II) по экологическому и токсикологическому значению следует выделить ртутьорганические соединения, которые обычно разделяют на две группы: первая - соединения, в которых ртуть связывается с одним органическим радикалом; вторая - соединения, в которых ртуть связывается с двумя органическими радикалами. Соединения первой группы имеют очень хорошую

растворимость в воде и липидах (органических веществах, входящих в состав всех живых клеток), а также устойчивы в водной среде (например, ион монометилртути  $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$ ). Вторая группа состоит из неполярных соединений, которые крайне плохо растворимы в воде и обладают высокой летучестью (например, диметилртуть  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ). Доля метилртути от ее общего количества в воде может варьироваться в пределах 20-40%. Монометилртуть очень быстро накапливается в живых организмах. Соотношение между количествами образующихся моно- и диметилртути зависит в основном от кислотности среды. При значениях кислотности 8-9 почти вся метилированная ртуть находится в форме диметилртути, при более низких значениях кислотности, что типично для современных вод, преобладает монометилртуть. Основными накопителями ртути, в условиях сильного загрязнения, являются взвесь и иловые отложения водных объектов. Наиболее высокую концентрацию ртути имеют техногенные илы, которые активно накапливаются в реках и водоемах, куда поступают сточные воды промышленности. Уровень концентрации ртути в этих сбросах достигает 100-300 мг/кг. Количество ртути от сброса промышленных вод, порой достигает десятков и сотен тонн. Практическое применение и нормальное функционирование загрязненных таким образом рек и водоёмов допустимо лишь после очистки от отложений ртути и её производных. Использование неочищенных вод в сельскохозяйственных целях увеличивает показатели ртути в сельхозпродукции, превышающих предельно допустимую концентрацию [15, 36].

Типичные фоновые уровни валовой ртути (растворенные формы) в природных пресных водах составляют 0,03-0,07 мкг/л; в донных отложениях рек и пресноводных озер – 0,05-0,10 мг/кг, в пресноводных растениях – 0,04-0,06 мг/кг сухой массы. В питьевых водах уровень ртути редко превышает 0,1 мкг/л. Ртуть, прежде всего метилртуть, относится к веществам, которые аккумулируются в простой пищевой цепи, примером может служить следующий ряд: личинка–пескарь–окунь–щука-кошка. В этой цепочке в

каждом последующем звене (организме) многократно увеличивается содержание метилртути. Лишь при соблюдении необходимых условий выращивания пищевые продукты содержат допустимое значение ртути [63].

**Растения** чаще всего содержат ртуть в меньших количествах, чем почвы, но в процессе минерализации растительных остатков возможно накопление ртути в верхних горизонтах. При этом тонкие корни растения будут играть роль барьера. [56]. На фоновых территориях, в которых отсутствует естественный геохимический фон по ртути, источником техногенных элементов в системе растение-почва является аэрозольное их осаждение из воздуха [51, 71]. Ртуть, поступающая из атмосферы в виде паров и пылеаэрозольных частиц, сорбируется хвойными растениями и прочно удерживается в хвое. Миграции в другие органы растения при этом не происходит [38]. В дерновой почве наблюдается увеличение содержания ртути в надземных органах и корнях растений 0,018-3,000 мг/кг по мере повышения ее концентрации в почве. Наименьшее содержание ртути 0,01-0,02 мг/кг обнаружено в растениях, в местах произрастания которых почвы имеют невысокую концентрацию ртути до 0,10 мг/кг [25].

Концентрация ртути в листьях и ризомах водорослей (*Thalassia testudinum*) из разных участков отбора проб вблизи побережья Венесуэлы колеблется в пределах 3-6 и 8-15 мг/кг соответственно при ее содержании в донных отложениях 6-9 мг/кг. В местах, где наблюдался высокий уровень загрязнения морской среды, показатели ртути в донном грунте достигали максимальных значений 26-37 мг/кг, а в листьях и ризомах водорослей соответственно 16-30 и 21-47 мг/кг. Следовательно, ризома водорослей накапливают ртуть из загрязненного ею донного грунта и являются ее источником для многих эпифитных организмов.

Ртуть с высокими концентрациями (более 557 мг/кг) обнаружена в корнях и побегах водных и наземных растений в зоне расположения завода по производству поташа. Отмечена корреляция содержания в растениях с концентрациями ртути в почве и воде. Наибольшей устойчивостью к

токсическому действию ртути обладают *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon* и *Chloris barbata* (в порядке увеличения). Среди водных растений максимальная концентрация ртути обнаружена в корнях и побегах *Marsilea* sp. и *Paspalum scrobiculatum*, а минимальная - у *Vasora monniera*. Большинство наземных растений характеризуется разной концентрацией ртути в корнях и надземных органах. Биоаккумуляции ртути в растениях риса, который выращен рядом с заводом, не установлено, однако она определена в капусте и амарантусае, произрастающих на одном из наиболее загрязненных участков. Полученные результаты свидетельствуют о неравномерном распределении участков повышенного загрязнения ртути в зоне расположения завода по производству поташа [14, 33, 54].

В результате антропогенной деятельности газы, выделенные в атмосферу в диапазоне концентраций ПДК и выше, являются причиной некрозов у растений в хвое. Наблюдается снижение роста новых побегов, количества и размеров ассимиляционных органов на годичных побегах (древесные растения) или на стеблях травянистых растений, снижение площади сырой и сухой массы листьев годичного побега (ксерофитизация), уменьшение возраста хвои, ускорение усыхания нижних ветвей в насаждениях (можжевельник, сосна), сокращение сроков жизни деревьев [4, 6, 29].

Выявленное негативное влияние заметнее и быстрее проявляется у голосеменных деревьев, например, с большой продолжительностью жизни хвои (ель), несколько хуже у сосны. У лиственных пород, ежегодно сбрасывающих листву, эти же нарушения проявляются при относительно большем уровне загрязнения воздуха (7 - 10 ПДК и более). Наглядными информационными биоиндикационными показателями загрязнения воздуха являются: количество хвои на годичном побеге, скорость опадения хвои по годам, сухой вес хвои годичного побега, скорость снижения сухого веса хвои побега по годам (за 3-4- года) [53].



На фоне всего дерева изменяются структура, форма и размеры крон. У голосеменных деревьев ухудшение жизненного состояния происходит в основном из-за отмирания ветвей в кронах, снижения степени охвоенности, увеличения некротизации хвои, отмечается и более значительное снижение радиального прироста по сравнению с листопадными деревьями.

В сосновых лесах Верхнего Приангарья, загрязняемых фторсодержащими эмиссиями, отмечается высокий уровень дефолиации крон, некрозы хвои, нарушение ветвления относительно ствола, изменение формы кроны, сухость вершины, уменьшение длины и массы хвои и побегов, сокращение продолжительности жизни хвои до 1-3 лет [11]. В районе промышленных узлов бассейна реки Селенги при загрязнении окружающей среды серой, фтором, кремнием, свинцом и железом наблюдается увеличение уровня дефолиации крон сосны обыкновенной, снижение продолжительности жизни хвои, длины побегов, массы и количества хвоинок на побеге [7].

Постоянное воздействие промышленных газов на растительность вызывает серьезные негативные изменения строения листа и хвои растений и увеличение их ксерофитизации [4, 6, 20, 62]. На урбанизированных территориях и промышленных площадках у растений небольшие листья, несколько толще и имеют мелкие клетки. У них меньше толщина верхнего эпидермиса, кутикулы, толщина и число слоев полисадной ткани, больше число устьиц на 1 мм<sup>2</sup> поверхности листовой пластинки. Под влиянием промышленных газов уменьшается апертура устьиц в течение дня. Степень описанных нарушений в анатомическом строении ассимиляционных органов зависит (коррелирует) от концентрации и их токсичности, а также длительности их действия и чувствительности видов.

Отклонение состава микроэлементов от фоновых значений увеличивается от лесопарков к аллеям и магистралям и от окрестностей к средней зоне города [10]. В условиях г. Донецка вечнозеленый хвойный кустарник (*Juniperus communis* L.) накапливает в шишкоягодах при

превышении ПДК: железо в 2,2, цинк в 1,8, свинец в 1,5, кадмий в 4,9, ртуть в 1,5, хром в 4,2 раза [22].

Растения накапливают и концентрируют в себе тяжелые металлы, которые они впитывают через корневую систему из почв и напрямую из атмосферы, при разных условиях это соотношение меняется. К особо опасным элементам для деревьев в случае их аккумуляции относят кобальт, хром, медь, свинец, цинк, кадмий, ртуть [59, 58].

При воздействии эмиссий от Усольско-Ангарского промышленного центра в хвое сосны наблюдается увеличение содержания ртути в 2,0–2,5 раза и свинца в 3,0–3,5 раза, от Иркутского промышленного центра – свинца в 7,0–7,5 раз, железа – в 3,0–3,5 раза, от Шелеховского промышленного центра – фтора в 8,0–9,0 раз, свинца – в 5,0–6,0 раз. При загрязнении выбросами от всех промышленных центров в хвое происходит снижение содержания марганца, фосфора и калия [31].

На территории Верхнего Приангарья отмечается увеличение содержания свинца, ртути, железа, меди, кадмия, алюминия, кремния в 2–10 раз. При ослаблении сосновых древостоев фторсодержащими выбросами в хвое уменьшается содержание калия, марганца, цинка, фосфора и его кислоторастворимых фракций, отмечается нарушение соотношений между фракциями азота [11].

В результате проведенных исследований О.А. Неверовой, в г. Кемерово, установлено, что прямой зависимости между содержанием химических элементов в почве и его поглощением растением не наблюдается. Несмотря на то, что содержание тяжелых металлов значительно повышается в почвах, которые расположены вдоль магистралей, в большинстве случаев коэффициенты биологического поглощения древесных пород увеличиваются на урбанизированных территориях по сравнению с фоном. Это говорит о том, что почва, будучи основным источником минерального питания растений, влияет на элементный состав последних опосредованно из-за наличия у растений защитно-

приспособительных свойств, проявляющихся в избирательном поглощении элементов из питающих сред и регуляции внутренней среды. Следовательно, в условиях урбанизированной территории загрязнение тяжелыми металлами листьев и хвои древесных растений происходит в основном атмосферным путем. На примере свинца показано, что соотношение путей его поступления в древесные растения – через атмосферу или почвы определяется уровнем накопления данного элемента почвами (стимуляция биологического поглощения листовыми деревьями отмечается при  $K_{об}$  почв свинцом 1,2-2,8, при  $K_{об}$  почв  $> 2,8$  у растений отмечается подавление биологического поглощения). Очевидно, что основным источником техногенных элементов в системе растение-почва является аэрозольное их осаждение из воздуха [51, 52].

Для дальнейшего сравнения содержания ртути в хвое, изучили литературные данные, характерные уровни содержания ртути в хвое голосеменных растений различных регионов мира приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Характерные уровни содержания ртути в хвое голосеменных растений различных регионов мира

Регион	Среднее, нг/г	Литературный источник
Фон в наземных растениях	30-700	Янин, 1992 [71]
Среднее в наземных растениях	15	
Европа	8	Aboal, 2001 [73]
Норвегия	47-116	Steinnes, 2005 [84]
<b>Хвоя</b>		
Канада	4-48	Лапердина, 2000 [36]
Польша	100-500	Черненкова, 2002 [65]
Испания	6-32	Aboal J.R., 2001 [73]
Россия	132	Аношин и др., 1995 [2]
Западное Забайкалье	6-12	Афанасьева и др., 2004 [8]
Республика Бурятия	9-13,4	Афанасьева и др., 2010 [9]
Горный и рудный Алтай	300	Гусев и др., 2012 [20]
Байкальский регион	5,8-13	Михайлова и др., 2010 [48]
Листья и хвоя деревьев	8-26	Ермаков, 2010 [27]
Томская область	79-165	Ляпина, 2015 [115]
Пуровский район (ЯНАО)	20	Страховенко В.Д. и др., 2012 [60]

Продолжение таблицы 1.3

Регион	Среднее, нг/г	Литературный источник
Алтайский край	22	Страховенко В.Д. и др., 2012 [60]
Республика Алтай	22	Страховенко В.Д. и др., 2012 [60]
Новосибирская обл.	29	Страховенко В.Д. и др., 2012 [60]
Иркутская обл. (УОБАО)	60	Страховенко В.Д. и др., 2012 [60]
Читинская обл. (АБАО)	35	Страховенко В.Д. и др., 2012 [60]
Республика Саха	270	Страховенко В.Д. и др., 2012 [60]
Архангельская обл.	34	Надеин А.Ф. и др., [50]
Алтае-Саянский экорегион	30-50	Шуркина В.В., 2013 [117]

Отметим, что исследования проводят в основном для территорий, подверженных антропогенному влиянию, рядом с промышленными центрами, в которых изучают содержание тяжелых металлов в биологических объектах (грибы, лишайники, ягоды, листья, хвоя). Хвоя рассматривается чаще всего одного вида дерева (например, сосна - самое распространенное на территории России) без указания года произрастания.

### **Выводы к главе 1**

Ртуть относится к элементам первого класса опасности, высокотоксична и кумулятивна, в силу высокой летучести паров широко распространена во всех компонентах природной среды. Является ядом для растительных и животных организмов. Так же Hg является вездесущей, сульфофильной, гидрофильной, находится во многих формах нахождения (соединений), что существенно затрудняет ее изучение. Ртуть находится в литосфере и биосфере в виде твердых соединений, различных газообразных фазах и в растворенной форме, каждая из которых преобладает при конкретных физико-химических условиях, но легко переходят друг в друга.

## Глава 2. Материалы и методы исследований

### 2.1 Характеристика территорий исследования

Исследования по содержанию ртути и особенностей её накопления в хвое голосеменных растений проводилось на территории Сибири и Дальнего Востока. В Западной Сибири рассмотрены районы Томской области (включая Томский район), Алтайского края, в Восточной Сибири – районы Республики Бурятия и Иркутской области, на территории Дальнего Востока – Республика Саха (Якутия). Исследованные районы являются фоновыми, не испытывают непосредственно влияния промышленных производств.

#### Томская область

Исследования содержания ртути в хвое деревьев, произрастающих в Томской области, проводились на двух ключевых участках «Бакчарское» олиготрофное и «Самарское» эвтрофное болота (рисунок 2.1), на базе научно-исследовательского стационара «Васюганье» ИМКЭС СО РАН, расположенного в п. Полынянка Бакчарского района (200 км к северо-западу от г. Томска).

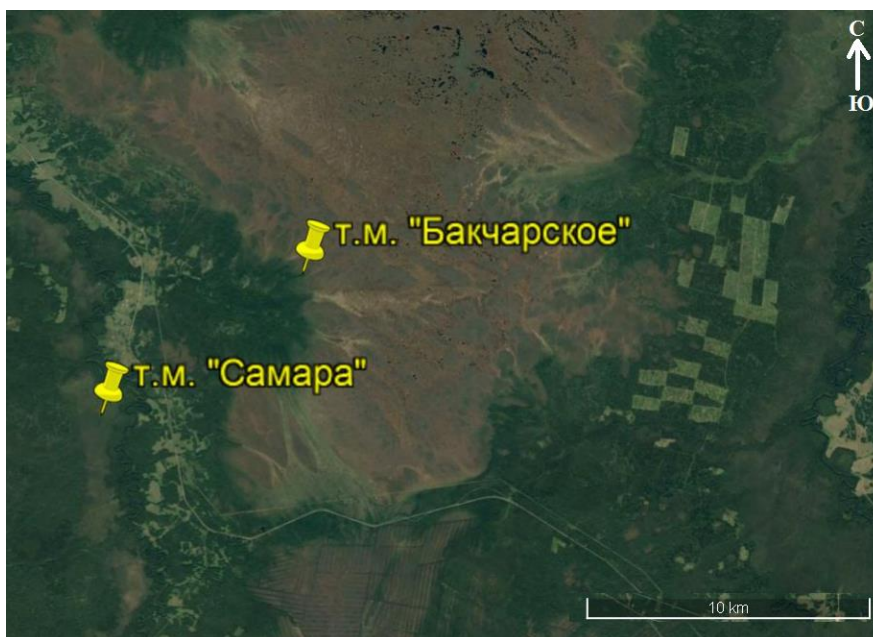


Рисунок 2.1 – Ключевые участки отбора проб хвои на территории Васюганского болота Томской области (основа карты [110] с дополнениями автора)

Торфяное месторождение «Бакчарское» практически естественный участок, мало подверженный антропогенному воздействию. На четырех опорных пунктах ландшафта, в границах водосборной площади р. Ключ параллельно линиям стока производился отбор проб. Территория заболоченного водосбора р. Ключ включает естественные торфяные болотные экосистемы Западно-Сибирской таежной болотной области бореально-атлантических олиготрофных моховых болот активного заболачивания [13].

Эвтрофное болото «Самара» площадью около 400 га расположено на низкой левобережной террасе р. Бакчар на первой надпойменной террасе в окрестностях д. Польшанка. Болото является частью сложной болотной системы, протянувшейся более чем на 20 км, вдоль уступа второй надпойменной террасы по левому берегу реки. Т.м. «Самара» представляющее собой один из элементарных болотных массивов этой болотной системы, характеризуется типичными чертами строения террасных болот малых рек на юге лесной зоны Западной Сибири [32].

На территории Томской области так же исследовали участки Томского района, расположенные вблизи города Томска. Отбор проб проводился на 9 ключевых участках, которые испытывают антропогенное воздействие в связи с действующими населенными пунктами и расположенными рядом объектами (рисунок 2.2):

1. Киреевск (село расположено на правом берегу р. Обь, в 81 км от Томска);
2. Эушта (располагается на левобережной Эуштинской (Татарской) протоке Томи, 21 км от Томска);
3. Держинского (расположено на возвышенном левом берегу реки Кисловки, у протоки Бурундук, в 18 км до центра Томска);
4. Тимирязевское (расположено на левом (западном) берегу Тоянова озера на левобережье Томи, 12 км от города);

5. Заварзино (располагается в месте слияния двух малых рек — Ушайки и её правого притока Малой Ушайки, восточнее Академгородка, 11 км от центра Томска);

6. Киргизка (поселок относится к Октябрьскому району города, входит в состав городского округа город Томск);

7. Светлый (поселок относится к Октябрьскому району города, входит в состав городского округа город Томск);

8. Богашево (село расположено в 18 км от Томска, в 5 км от села расположен аэропорт Богашёво)

9. Корнилово (село расположено на реке Ушайке, в 18 км от г. Томска).

Особенность исследуемой хвои Томской области заключается в том, что пробы отобраны вблизи населенных пунктов с преобладающим печным отоплением, крупными автотрассами и железными дорогами, а также другими объектами антропогенной нагрузки, что влияет на содержание ртути в пробах.

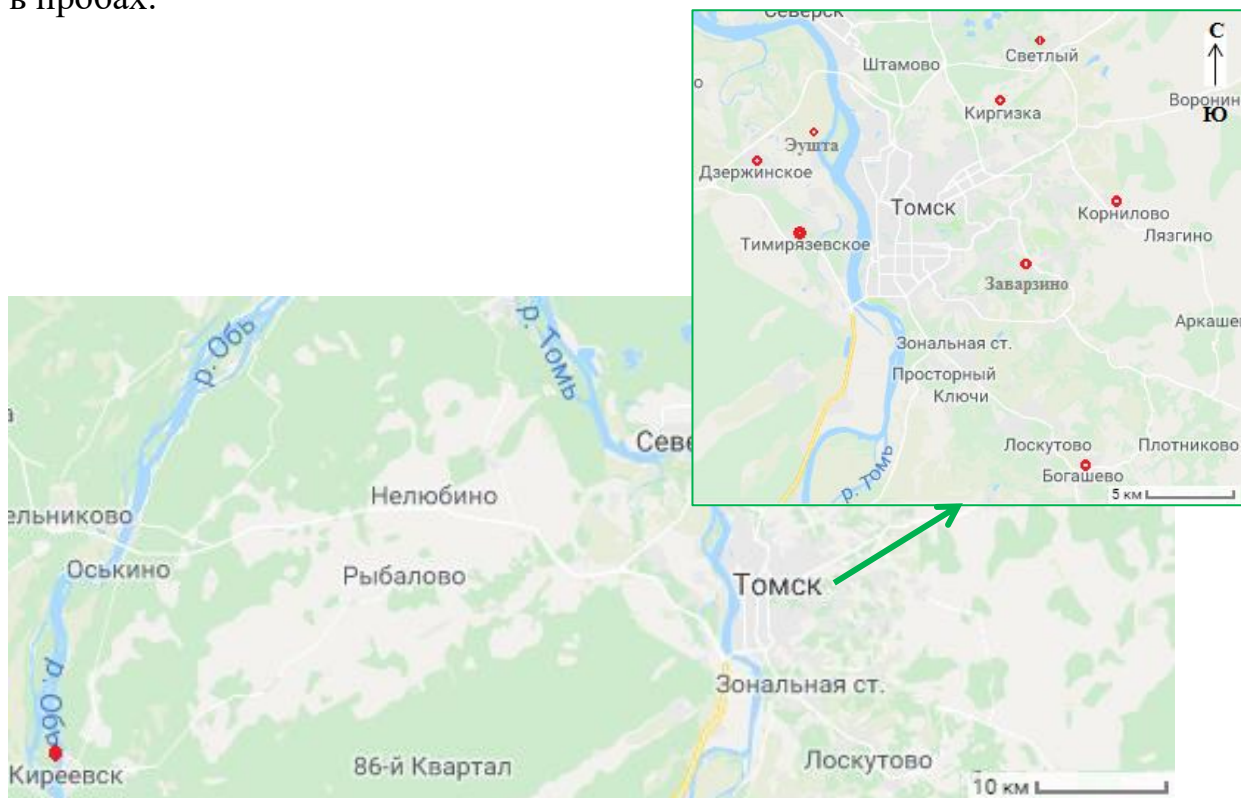


Рисунок 2.2 – Ключевые участки отбора проб хвои на территории Томского района (основа карты [114] с дополнениями автора)

### Алтайский край

Пробы хвои исследовались на северо-западе Алтайского края, на трех ключевых участках в районах сел Гришковка, Табуны и Бурла (рисунок 2.3). Села располагаются в пределах Кулундинской равнины, относящейся к Западно-Сибирской равнине, на высоте 120 метров над уровнем моря. Являются важным сельскохозяйственным районом Западной Сибири. Большую площадь равнины занимают пахотные земли и сельскохозяйственные посевы зерновых (в основном пшеница) и немного технических культур. Кое-где используют искусственные системы полива.

Особенностью континентального климата является жаркое засушливое лето и малоснежная холодная зима. На территории преобладают степные ландшафты: на севере и востоке - злаковые степи на южных чернозёмах, на юге и западе - полынно-злаковые на каштановых почвах лёгкого механического состава. Под сосновыми лесами и осиново-березовыми рощами - оподзоленные и дерновые почвы [120].

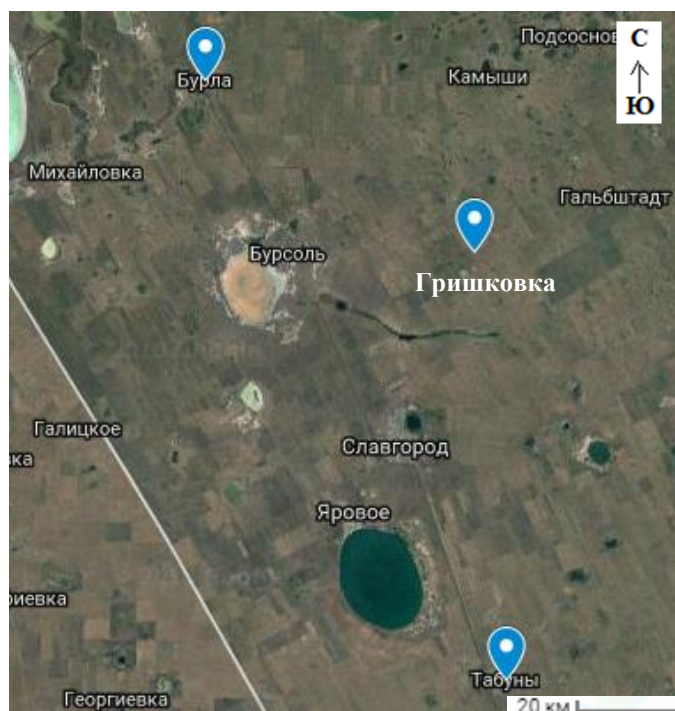


Рисунок 2.3 – Ключевые участки отбора проб хвои на территории Алтайского края (основа карты [109] с дополнениями автора)



«Гришковка» - район активного землепользования, расположен в 21 км от г. Славгорода. Рельеф местности равнинный. Село окружено полями. Распространены тёмно-каштановые почвы.

«Табуны» – район расположен в 26 км г. Славгорода и г. Яровое. Сельскохозяйственный район.

«Бурла» – район расположен в 43 км г. Славгорода, на берегу реки Бурлы. Отбор проб осуществлялся вдоль железнодорожного полотна Западно-Сибирской железной дороги.

Исследуемые участки расположены вдоль границы Россия – Казахстан и испытывают влияние трансграничного переноса.

### Республика Бурятия

Исследование содержания ртути в хвое деревьев, произрастающих в горных экосистемах, проводилось в Тункинском районе Республики Бурятия. Район находится в Саяно-Прибайкальской части западной Бурятии. Граничит на севере с Тункинским Гольцом Окинского района, на юге с Хангарульским хребтом и водоразделом западного Хамар-Дабана Закаменского района Республики. На западе и юго-западе по массиву Мунку-Сардык и юго-восточным отрогам Большого Саяна проходит государственная граница России и Монголии. Тункинская долина занимает северную половину района, является продолжением Байкальской впадины. Она протянулась в широтном направлении на 200 км. По ложу долины течёт главная река района – Иркут.

Почвенный покров территории характеризуется разнообразными видами почв: дерново-подзолистыми, дерново-лесными, черноземными, лугово-черноземными, луговыми, лугово-болотными, карбонатными, дерново-карбонатными, солончаками луговыми, торфяными болотными и др. Растительность Тункинской долины отличается видовым разнообразием. Учитывая очень большой перепад высот, который достигает в некоторых местах 2000 м, здесь в огромном количестве представлены практически все пояса. Гольцевый пояс (высота свыше 2000 м) образован в основном мохово-

лишайниковыми и лишайниковыми тундрами, однако, кое-где встречается и кустарниковые. Подгольцевый пояс (1800-2000 м) – это прежде всего криволесья и редколесья кедра с участием лиственницы и пихты; значительные площади занимают заросли высокогорных кустарников. В верхней части лесного пояса (до 1800 м) господствуют кедровые леса. Полоса предгорий покрыта смешанными лесами из лиственницы, сосны, березы, ягодников [119].

Тункинский район представляет собой естественный участок, не подверженный непосредственному антропогенному воздействию. Отбор проб производился в трех опорных пунктах (рисунок 2.4): «Монды», «Тунка» и «Аршан» (название дано по названиям сел, расположенных рядом).



Рисунок 2.4 – Ключевые участки отбора проб хвои на территории Республики Бурятия (основа карты [113] с дополнениями автора)

«Монды» - западная, высокогорная местность района, расположена в 83 км от села Кырен, в изолированной долине Верхнего Иркутта, ввиду массива Мунку-Сардык, подножие которого начинается в 10 км западнее посёлка Монды. В 11 км на юго-запад по Тункинскому тракту, на перевале Мунгийн-Дабан, проходит государственная граница с Монголией.

«Тунка». Территория расположена в центре Тункинской долины на левом берегу Иркутта и берегах реки Тунки, в километре от места её впадения в Иркут. Кырен находится в 39 км к западу от села Тунка, в 20 км севернее

расположен курортный посёлок Аршан. На запад от села, вверх по реке Тунке, лежит обширная низменность Койморских озёр.

«Аршан» расположен на высоте 893 м в месте выхода реки Кынгырги на северную окраину Тункинской долины у подножия Тункинских Гольцов.

### Иркутская область

Исследование содержания ртути в хвое деревьев, произрастающих в Иркутской области, проводилось в Прибайкальском национальном парке (участок «Приольхонье»). На естественном участке (рисунок 2.5) отобрана хвоя сосны и кедрового стланика.

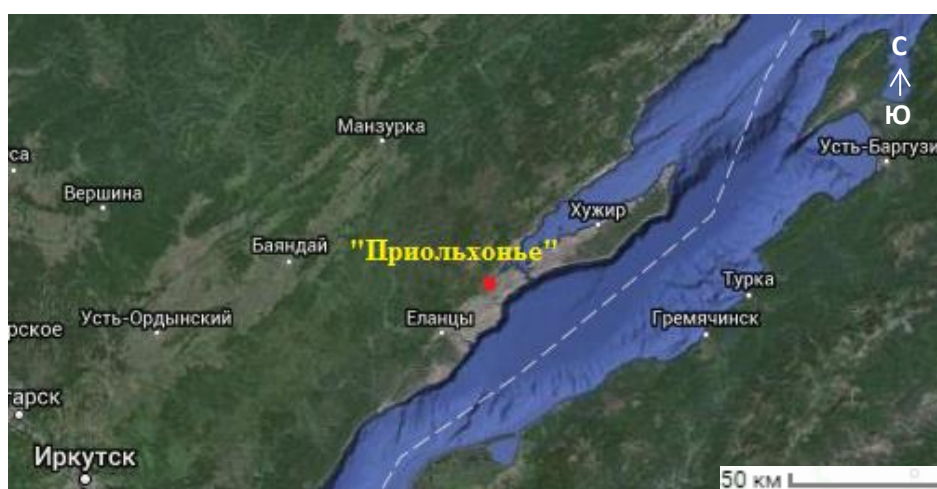


Рисунок 2.5 – Ключевой участок отбора проб хвои на территории Иркутской области (основа карты [112] с дополнениями автора)

В Приольхонье встречается всё многообразие ландшафтов. Степь с глубоко вдающимися в сушу заливами, песчаные пляжи с дюнами, холмами и хвойными рощами лиственничных пород вдоль берега, густые леса с участками редко растущих лиственниц, реликтового ельника, суровые мраморные скалы, украшенные густыми красными мхами, болота, пышно заросшие водными растениями [118].

### Республика Саха (Якутия)

Ключевой участок Республики Саха (Якутия) - «Верхоянский улус», в южной части которого расположено золоторудное месторождение Вьюн (рисунок 2.6).

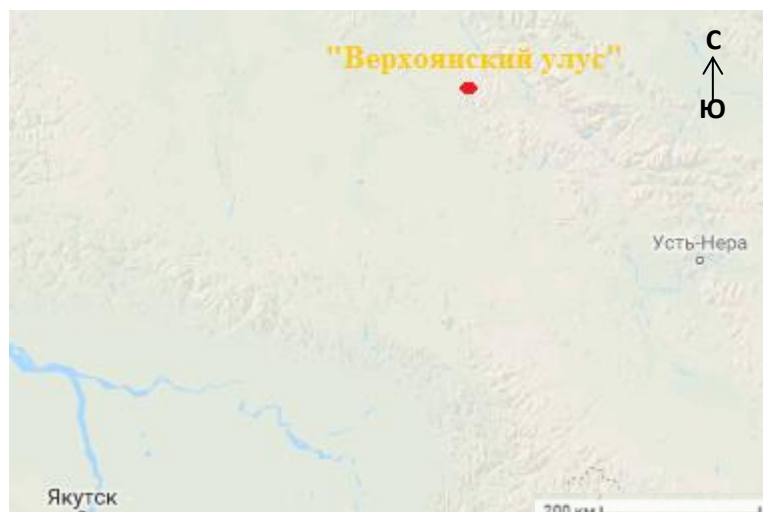


Рисунок 2.6 – Ключевой участок отбора проб хвои на территории Республики Саха (Якутия) (основа карты [111] с дополнениями автора)

Участок находится на севере Якутии. Юг и центральную часть Верхоянского улуса занимает Янское плоскогорье, на северо-западе - хребет Кулар, на востоке - горные цепи хребта Черского. Территория улуса орошается рекой Яна и её притоками, Адыча (один из главных) и Туостаах.

Район характеризуется сплошным распространением многолетнемерзлых пород мощностью 200-350 м. Растительность района соответствует зоне лесотундры. Из кустарников встречаются кедровый стланик, карликовая береза (ерник), тальник. Широко распространены лишайники и мхи. Травянистая растительность развита по долинам всех водотоков, но хороших сенокосных угодий нет [108].

## 2.2 Фактический материал, отбор проб

Объектом исследования является разновозрастная хвоя голосеменных деревьев: кедра сибирского (*Pinus sibirica*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), ели сибирской (*Picea obovata*), можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), кедрового стланика (*Pinus pumila*) и лиственницы (*Larix*). Местом отбора проб являются территории Западной Сибири (Томская область и Алтайский край), Восточной Сибири (Иркутская область и Республика Бурятия) и Дальнего Востока (Республика Саха (Якутия)). Выбранные территории не подвержены непосредственному антропогенному воздействию, находятся вдали от промышленных предприятий (условно фоновые территории).

Хвоя внешне походит на узкие игольчатые листья. Характерно наличие плотной кожицы, которую покрывает восковидная субстанция. Это необходимо для уменьшения испарения влаги голосеменными растениями. К примеру, у ели хвоинки четырехгранные, но зачастую грани практически незаметны, и хвоинки выглядят уплощенными.

Если разрезать хвоинку, она имеет форму неправильного ромба, причем самый плоский угол направлен книзу (рисунок 2.7).

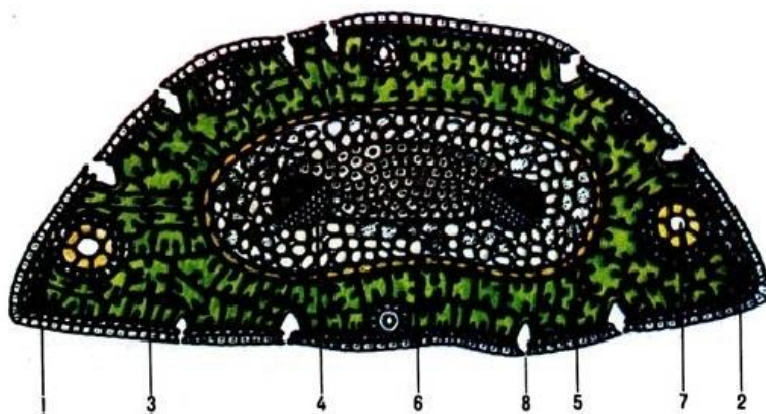


Рисунок 2.7 - Поперечный разрез хвои сосны обыкновенной [37]:

1. Эпидерма и кутикула. 2. Гиподерма. 3. Мезофилл. 4. Проводящие пучки. 5. Трансфузионная ткань. 6. Эндодерма. 7. Смоляной ход. 8. Устьице.

Здесь расположена срединная жилка листа. Вдоль других граней иголки заметны полосы белого цвета, образованные устьицами –

дыхательными отверстиями, через которые осуществляется дыхание растений. Также устьица служат для испарения влаги, которую дерево впитывает из грунта даже в стужу.

Важным отличием хвойных пород от лиственных заключается в том, что у них черешок прочно связан с веткой и остается на ней, даже после отмирания иголки. Иголки опадают через 6-7 лет. Они хорошо защищены от воздействия неблагоприятных факторов внешней среды толстым слоем воскового налета – кутикулой. Причем у многих видов налет настолько толстый, что хвоинки приобретают голубой оттенок [37].

Для оценки содержания ртути образцы хвои отбирали в конце вегетационного периода растений (август-сентябрь) методом смешанной пробы с примерно одновозрастных деревьев в нижней части кроны на высоте 1,5-2 м от поверхности земли согласно стандартным методическим указаниям [1]. В результате отобрано 320 проб хвои. Пробы доводили до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре, измельчали. Хвою не промывали. В ходе работы получены концентрации ртути в период с 2009 по 2017 года.

Время отбора хвои голосеменных растений Сибири и Дальнего Востока приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Время и место отбора проб

<b>Район исследования/ год</b>	Томская область	Томский район	Алтайский край	Республика Бурятия	Иркутская область	Республика Саха (Якутия)
2013	62 пробы					
2014						
2015				56 проб	10 проб	
2016		56 проб	29 проб			
2017			36 проб	56 проб		15 проб

В результате исследования выявили особенности накопления ртути в разновозрастной хвое в зависимости от вида голосеменных растений, возраста хвои, климатических и ландшафтных характеристик территории Сибири и Дальнего Востока.

### 2.3 Аппаратное и методологическое обеспечение исследований

Лабораторно-аналитические исследования по определению содержания ртути в хвое проводились с применением современного атомно-абсорбционного метода в учебно-научной лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» отделения геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета. Все пробы проанализированы с помощью ртутного газоанализатора РА-915+ с пиролизической приставкой «ПИРО-915», которая позволяет проводить прямое определение содержания ртути в пробах на уровне 5 нг/г (рисунок 2.8). Технические характеристики прибора представлены в таблице 2.2. Концентрацию ртути рассчитывали на 1 г сухого вещества – хвои.



Рисунок 2.8 – Ртутный газоанализатор РА-915+ с пиролизической приставкой «ПИРО-915»

Таблица 2.2 - Технические характеристики ртутного газоанализатора РА-915+ с пиролизической приставкой «ПИРО-915»

Верхняя граница диапазона измерений	5 мг/кг
Время анализа	1-5 мин
Допустимые навески проб	10-500 мг
Скорость прокачки воздуха	1-3 л/мин
Верхняя граница диапазона измерений для навески пробы 20 мг	200 мг/кг



Контроль стабильности градуировочного коэффициента проводится перед началом работы.

Приставка «ПИРО-915» предназначена для прямого анализа твердых проб любого состава. Принцип действия основан на термическом разложении исследуемого материала (при температуре до 700°C), восстановлении связанной ртути до атомарного состояния и переносе её в измерительную кювету. Низкие пределы обнаружения ртути на уровне мкг/кг позволяют проводить контроль природных и технологических объектов на соответствие санитарно-гигиеническим и технологическим нормативам.

Навеска пробы измельченной хвои до 50 мг помещается в ложечку-дозатор. Включается интегрирование аналитического сигнала, и ложечка-дозатор вводится в приставку «ПИРО-915+». После возвращения аналитического сигнала на базовую линию (60-120 с) интегрирование завершается. С помощью программного обеспечения «РАПИД» фиксируется сигнал и определяется концентрация ртути в пробе. Измерения одной пробы проводится не менее двух раз, далее фиксируется среднее значение концентрации с погрешностью измерения не более 12%.

Методика обработки результатов включала расчет эколого-геохимических показателей: коэффициента концентрации (Кс) и временно допустимой концентрации (ВДК).

Формула расчета коэффициента концентрации (2.1) ртути в компонентах окружающей среды (снеговом покрове, почвах, водах, донных отложениях или растительности) относительно их концентрации в соответствующих средах фонового района либо относительно ПДК имеет вид:

$$K_c = C_{Hg} / C_{ф}, \quad (2.1)$$

где Кс - коэффициент концентрации ртути в соответствующем компоненте ландшафта;

$C_{Hg}$  - концентрация ртути в соответствующем компоненте изучаемой территории;



$C_{\phi}$  - концентрация ртути в соответствующем компоненте изучаемой территории для фонового района (4 нг/г [36]).

Хвоя не является той средой, которая подлежит нормированию, так как не употребляется в пищу. Поэтому ввели условно расчетную величину, а именно временно допустимую концентрацию (ВДК) ртути в хвое, которую рассчитали по формуле 2.2. С помощью ВДК определили условный предел содержания ртути в хвое.

$$ВДК = C_{Hg} / 2C_{\phi} \quad (2.2)$$

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием табличного процессора Microsoft Excel и статического пакета Statistica 6.0.

## **Выводы к главе 2**

В ходе исследования ртутной нагрузки на условно фоновые территории всего проанализировано 320 проб хвои кедра сибирского, сосны обыкновенной, пихты сибирской, ели сибирской, можжевельника обыкновенного, кедрового стланика и лиственницы (на территориях Томской области – 118 проб, Алтайского края – 65 проб, Республики Бурятия – 112 проб, Иркутской области – 10 проб, Республики Саха (Якутия) – 15 проб).

Исследования проводились с 2013 по 2017 гг. с применением современного атомно-абсорбционного метода в учебно-научной лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» отделения геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета.

### **Глава 3. Содержание и особенности накопления ртути в хвое голосеменных растений на территории Сибири и Дальнего Востока**

Рассматривается содержание ртути в хвое голосеменных растений в зависимости от вида дерева, возраста, ландшафтных и климатических особенностей, рассчитаны геоэкологические показатели ртутной нагрузки на исследуемых территориях.

#### **Глава 4. Социальная ответственность при исследовании содержания ртути в хвое голосеменных растений**

Цель раздела: проанализировать опасные и вредные факторы лабораторного и камерального видов производственной деятельности и решить вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативно-технических документов.

Рабочее место расположено в лаборатории (529-530 ауд.) на пятом этаже здания (20 корпус ТПУ, Ленина 2/5, г. Томск), имеет естественное и искусственное освещение. Естественное освещение осуществляется через световые проемы (окна), искусственное освещение осуществляется системой общего равномерного освещения. Площадь на одно рабочее место с персональным компьютером (ПК) с жидкокристаллическим монитором составляет не менее 4,0 м<sup>2</sup>, а объем на одно рабочее место – не менее 10 м<sup>3</sup>.

## 4.1 Производственная безопасность

### 4.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Рабочее место расположено в лаборатории (529-530 ауд.) МИНОЦ «Урановая геология» ИШПР на пятом этаже здания (20 корпус ТПУ, Ленина 2/5, г. Томск), имеет естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место составляет не менее 4,5 м<sup>2</sup>, а объем – не менее 20 м<sup>3</sup>. В аудитории имеются персональные компьютеры. Работы на ПК проводятся в помещении, соответствующем гигиеническим требованиям [102]. В таблице 4.1 приведены вредные и опасные факторы при работе на персональном компьютере.

Таблица 4.1 - Элементы производственного процесса, формирующие вредные и опасные факторы в рабочем помещении

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ) [4]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Подготовка проб хвой для анализа на ртутном анализаторе РА-915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915 методом измельчения. Обработка информации на персональном компьютере (обработка баз данных)	1. Отклонение показателей микроклимата в помещении. 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 3. Степень нервно-эмоционального напряжения. 4. Повреждение химическими реактивами	1.Электрический ток	ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ [93]. ГОСТ 12.1.38-82 [94]. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [102]. СНиП 23-05-95 [104]. СанПиН 2.2.4.548-96 [103]. ПНД Ф 12.13.1-03 [100]

Вредные факторы рабочего помещения, оборудованных персональными компьютерами, включают в себя:

- отклонение показателей микроклимата в помещении,
- недостаточная освещенность рабочей зоны,
- степень нервно-эмоционального напряжения,
- повреждение химическими реактивами.

1. Отклонение показателей микроклимата в помещении.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма [103].

Оптимальные нормы и фактические показатели микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Оптимальные нормы и фактические показатели микроклимата в рабочей зоне производственных помещений, СанПиН 2.2.4.548-96 [103]

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич.	Оптим	Фактич.	Оптим.	Фактич.	Оптим.
Холодный	Ia	22	22–24	40	60–40	0,1	0,1
Теплый	Ia	25	23–25	55	60–40	0,1	0,1

*Примечание:* Категория Ia – работы с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением [103].

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением.

Таким образом, микроклиматические условия рабочего помещения соответствуют гигиеническим требованиям СанПиН 2.2.4.548-96 [103] и являются комфортными. Мероприятия, направленные на обеспечение безопасности в помещениях, оборудованных персональными компьютерами, заключаются в ежедневной влажной уборке и систематическом проветривании (естественная вентиляция) после каждого часа работы на ПК.

При работах, выполняемых сидя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,0 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,0 м от пола или рабочей площадки. При работах, выполняемых стоя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,5 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,5 м. Скорость движения воздуха следует измерять анемометрами вращательного действия [103].

2. Недостаточная освещенность рабочей зоны. При правильно организованном освещении рабочего места обеспечивается сохранность зрения человека и нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Различают следующие виды производственного освещения: естественное, искусственное и совмещенное.

Нормирование освещенности производится в соответствии с межотраслевыми нормами и правилами СНиП 23-05-95 [104]. В нормах прописан ряд требований к качеству освещения: равномерное распределение яркости и отсутствие резких теней; в поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость; освещенность должна быть постоянной во времени; оптимальная направленность светового потока; освещенность должна иметь спектр, близкий к естественному. СНиП 23-05-95 [104] устанавливает минимальные (нормативные) показатели освещенности в наименее освещенных точках рабочих поверхностей.

В аудиториях, где находятся рабочие места, совмещенное освещение. Естественное освещение осуществляется через боковые окна. Общее

искусственное освещение обеспечивается светильниками, встроенными в потолок и расположенными так, чтобы свет распределялся равномерно.

Для определения величин нормированного естественного освещения используется таблица 2 СНиПа 23-05-95 [104]. Выполняемая работа относится к средней точности. Работа средней точности характеризуется тем, что размер наименьшего объекта различения лежит в пределах от 0,5 до 1 мм. Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность – не менее 70 %. В процессе зрительной работы фон и контраст объекта с фоном средний. При боковом естественном освещении коэффициент естественной освещенности должен составлять 0,5 % [104].

Также освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк, яркость светящихся поверхностей (окно, светильник и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>, яркость бликов на экране ПК не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup> и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м<sup>2</sup> [89].

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Нормы освещения рабочего места согласно СНиП 23-05-95 [104] приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Норма освещенности рабочего места [104]

Тип помещения	Нормы освещенности, лк при освещении	
	Комбинированное	Общее
Помещение для персонала, осуществ. техническое обслуживание ПК	750	400

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях использования персонального компьютера следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и для регулирования яркости окон могут быть применены занавеси, шторы, жалюзи [104].

### 3. Степень нервно-эмоционального напряжения. Нервно-

эмоциональное напряжение при работе на персональном компьютере (ПК) возникает вследствие дефицита времени, большого объема информации, особенностей диалогового режима общения человека и ПК (сбои, оперативное ожидание и т.д.), ответственности за безошибочность информации. Для того чтобы избежать утомляемости необходимо делать каждые 2 часа 15 минутные перерывы, а также желательно стараться более 4 часов не заниматься одной и той же работой, необходимо менять занятие и обстановку.

### 4. Повреждение химическими реактивами

При подготовке проб хвои к аналитическим исследованиям используется измельчитель (кофемолка). Для обеспечения получения достоверных результатов по уровню концентраций ртути и во избежание попадания в пробы посторонних примесей все вспомогательные материалы обрабатываются этиловым спиртом (ПДК 1000 мг/м<sup>3</sup>) [87].

При вдыхании паров этилового спирта наступает реакция местного раздражения слизистых, а после всасывания в кровоток – системное отравление организма. Пострадавший жалуется на головокружение, тошноту, ощущение тумана перед глазами из-за сильной интоксикации. Кроме этого, резко снижается острота зрения, появляются боли в правом подреберье. В данном случае нужно хорошее проветривание и поступление свежего воздуха в помещение. В редких случаях использование защитных приспособлений (респираторов и т.д.).

Наличие химических опасных и вредных факторов в помещениях с ЭВМ в основном обусловлено широким применением полимерных и синтетических материалов для отделки интерьера, при изготовлении мебели, ковровых изделий, радиоэлектронных устройств и их компонентов, изолирующих элементов систем электропитания. Технология производства ЭВМ предусматривает применение покрытий на основе лаков, красок, пластиков. При работе ЭВМ нагреваются, что способствует увеличению



концентрации в воздухе таких вредных веществ как формальдегид, фенол, полихлорбифенилы, аммиак, двуокись углерода, озон, хлористый винил.

Порядок осуществления контроля за содержанием вредных химических веществ и аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) в воздухе рабочей зоны регламентируется ПНД Ф 12.13.1-03 [101].

Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны проводится путем измерения среднесменных (Ксс) и максимально разовых (Км) концентраций и последующего их сравнения с предельно допустимыми значениями, представленными в документе «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [95].

Для предупреждения или уменьшения воздействия на работников опасных и вредных производственных факторов необходимо обеспечить достаточную вентиляцию в помещении, регулярно его проветривать и проводить влажную уборку. Работник в свою очередь обязан соблюдать правила личной гигиены.

#### **4.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

##### 1. Электрический ток

Электрический ток – это основной опасный фактор при компьютерной работе. Источником электрического тока являются электрические установки, к которым относится оборудование ЭВМ. Они представляют для человека потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением.

Действие электрического тока на организм человека носит многообразный характер. Проходя через организм человека, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие [102]. Общие требования и номенклатура видов защиты соответствует

ГОСТу 12. 1. 019-79 [92]. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов нормируется согласно ГОСТу 12.1.038-82. ССБТ [94].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Напряжения прикосновений и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, ГОСТу 12. 1. 038-82 [94]

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3

*Примечания:*

- 1. Напряжения прикосновений и токи приведены при продолжительности воздействий не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения.*
- 2. Напряжения прикосновений и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза [94].*

Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве до высокой температуры внутренних органов человека (кровеносных сосудов, сердца, мозга).

Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей тела (воды, крови) и нарушениях их физико-химического состава.

Биологическое действие тока проявляется как раздражение и возбуждение живых тканей организма и сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц (сердца, лёгких). Эти действия приводят к двум видам поражения: электрическим травмам и электрическим ударам.

Электрические травмы представляют собой чётко выраженные местные повреждения тканей организма человека, вызванные воздействием электрического тока (или дуги).

Электротравмы излечимы, хотя степень тяжести может быть значительной вплоть до гибели человека.

Различают следующие электрические травмы [94]:

- 1) электрические ожоги;
- 2) электрические знаки;
- 3) металлизация кожи;
- 4) электроофтальмия;
- 5) механические повреждения.

Поражение человека электрическим током возможно лишь при замыкании электрической цепи через его тело или, иначе говоря, при прикосновении человека к сети не менее чем в двух точках.

Основными мероприятиями, направленными на ликвидацию причин травматизма, относятся [94]:

1. Защитное заземление и зануление;
2. Систематический контроль состояния изоляции электропроводов и кабелей;
3. Разработка инструкций по техническому обслуживанию и эксплуатации вычислительной техники и контроль их соблюдения;
4. Соблюдения правил противопожарной безопасности;
5. Своевременное и качественное выполнение работ по проведению планово-профилактических работ и предупредительных ремонтов [94].

Защитное заземление и зануление. Одними из эффективных средств защиты от поражения электрическим током являются защитное заземление и зануление электроустановок. В соответствии с ГОСТ 12.1.009–76 [21]:

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Защитное действие заземляющего устройства основано на снижении до безопасной величины тока, проходящего через человека в момент касания им поврежденной электроустановки.

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые

могут оказаться под напряжением. Защитное действие зануления основано на снижении до безопасной величины тока, проходящего через человека в момент касания им поврежденной электроустановки, и последующем отключении этой установки от сети.

#### **4.2 Экологическая безопасность**

В ходе исследования было проанализировано 320 проб, каждая из которой имеет сухую массу не более 15 г. При анализе проб методом атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью ртутного анализатора РА-915+ с пиролитической приставкой «ПИРО-915» навеска хвои берется в пределах 40-50 мг и сжигается до пепла. Таким образом, изучение проб хвои не несет вред окружающей среде (атмосфере, гидросфере, литосфере).

#### **4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Одним из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС является пожар на рабочем месте. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов. Федеральным законом от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ утвержден «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (в ред. Федеральных законов от 10.07.2012 N 117-ФЗ, 02.07.2013N 185-ФЗ) [106].

Предотвращение распространения пожара достигается мероприятиями, ограничивающими площадь, интенсивность и продолжительность горения. К ним относятся:

- конструктивные и объёмно-планировочные решения, препятствующие распространению опасных факторов пожара по помещению;

- ограничения пожарной опасности строительных материалов, используемых в поверхностных слоях конструкции здания, в том числе кровель, отделок и облицовок фасадов, помещений и путей эвакуации;
- наличие первичных, в том числе автоматических и привозных средств пожаротушения;
- сигнализация и оповещение о пожаре.

В исследуемых помещениях обеспечены следующие средства противопожарной защиты:

- «план эвакуации людей при пожаре»;
- памятка о соблюдении правил пожарной безопасности;
- ответственный за пожарную безопасность;
- для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции;
- для локализации небольших возгораний помещение оснащено углекислотными огнетушителями (ОУ-8 в количестве 2 штук);
- установлена система автоматической противопожарной сигнализации (датчик–сигнализатор типа ДТП)

#### **4.4 Законодательное регулирование проектных решений**

Согласно Конституции Российской Федерации, каждый гражданин имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, на вознаграждение за труд без какой бы то ни было дискриминации и не ниже установленного федеральным законом минимального размера оплаты труда, а также право на защиту от безработицы.

В Федеральном законе Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», главе 1, статье 5 утверждены права и обязанности работника в связи с проведением специальной оценки условий труда.

В соответствии со статьей 26 настоящего Федерального закона работник вправе присутствовать при проведении специальной оценки условий труда на его рабочем месте; обращаться к работодателю (его представителю) организации, эксперту организации, проводящему специальную оценку условий труда, за получением разъяснений по вопросам проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте; обжаловать результаты проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте. Работник обязан ознакомиться с результатами проведенной на его рабочем месте специальной оценки условий труда [107].

#### **Выводы к главе 4**

Проанализировали опасные и вредные факторы лабораторного и камерального видов производственной деятельности и решили вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативно-технических документов.

## Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Техничко-экономическое обоснование продолжительности и объема работ

В ходе проведения настоящих исследований на территориях Сибири (Томской, Иркутской областей, Алтайского края, Республики Бурятия) и Дальнего Востока (Республики Саха) необходим отбор проб хвои с последующим изучением содержания ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью ртутного анализатора РА-915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915 (метод пиролиза). На основании технического плана (таблица 5.1) рассчитываются затраты времени и труда (таблица 5.3).

Таблица 5.1 - Технический план проводимых работ

№	Вид работ	Объем		Условия производства работ	Вид оборудования
		Единицы измерения	Количество		
1	Эколого-геохимические работы	Проба	56	Отбор проб хвои, категория проходимости - 1	Ручка, блокнот.
2	Лабораторные работы	Проба	320	Пробоподготовка материала	ZIP-пакетики, этикетки.
		Проба	320	Определение ртути	Ртутный анализатор РА-915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915
3	Камеральные работы			Обработка данных и анализ материала	Компьютер (ЭВМ)

#### *1. Эколого-геохимические работы.*

Содержание работ: выбор территорий отбора проб, отбор образцов хвои вручную методом смешанной пробы с нижней части кроны деревьев, доведение проб хвои до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре, разделение хвои по годам произрастания, маркировка ZIP-пакетов для проб, этикетирование и упаковка проб, измельчение материала

проб, регистрация проб в журнале. Всего было отобрано 56 проб хвои в Томском районе. На территориях Томской области (62 пробы), Алтайского края (65 проб), Республики Бурятия (112 проб), Иркутской области (10 проб) и Республики Саха (15 проб) образцы хвои отобраны научными сотрудниками Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) в ходе экспедиции.

## ***2. Лабораторные работы***

Данный этап работы включает подготовку проб к атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью ртутного анализатора РА-915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915 (метод пиролиза). Прибор определяет количество ртути в хвое и выводит данные концентраций в программном обеспечении «РАПИД», далее полученные данные фиксируются в протоколе испытаний исполнителем.

## ***3. Камеральные работы***

На этом этапе производится поиск и систематизация информации о территориях исследования, статистическая обработка и анализ полученных данных, изучение источников поступления ртути в пробы (загрязняющее вещество или естественный геохимических фон территории). После этого выделяются общие закономерности и зависимости, оформляется общий отчет.

Перед осуществлением расчета стоимости работ необходимо планирование и составление графика работ. Отбор проб в рамках настоящих исследований проводился в конце вегетационного периода растений (август-сентябрь) 2016-2017 г.г. Полный график работ представлен в таблице 5.2.



Таблица 5.2 - График проведения работ

Виды работ	Сроки проведения работ						
	2016 г.		2017 г.		2018 г.		
	август-сентябрь	ноябрь	август-сентябрь	ноябрь	февраль	март	апрель
Отбор проб хвои	+		+				
Исследование проб на ртутном анализаторе РА-915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915		+		+			
Камеральные работы с использованием ЭВМ		+		+	+	+	+

## 5.2 Расчет затрат времени и труда по видам работ

Для расчета затрат времени и труда использовались нормы, изложенные в ССН-93 выпуск 2 «Геолого-экологические работы». Из этого справочника взяты следующие данные:

- норма времени, выраженная на единицу продукции;
- коэффициент к норме.

Расчет затрат времени выполняется по формуле:

$$N=Q \cdot N_{\text{ВР}} \cdot K, \quad (5.1)$$

где  $N$  – затраты времени, (бригада, смена на м.(ф.н.);

$Q$  – объем работ, (м.(ф.н.);

$N_{\text{ВР}}$  – норма времени из справочника сметных норм (бригада, смена);

$K$  – коэффициент за ненормализованные условия.

Все работы были выполнены одним рабочим 2 категории под руководством руководителя.

Используя технический план, в котором указаны все виды работ, определялись затраты времени на выполнение каждого вида работ в сменах (таблица 5.3).

Таблица 5.3 - Расчет затрат времени труда

№	Вид работ	Объем		Норма времени по ССН (Нвр)	Коэф-ты (К)	Документ	Итого времени на объем (N)
		Единицы измерения	Количество				
1	Эколого-геохимические работы	Проба	56	0,086	-	пункт 74 ССН, вып. 2	4,82
2	Пробоподготовка	Проба	320	За 1 смену 40 проб	-		8,0
3	Выполнение стандартного комплекса операций камеральной обработки материалов (без использования ЭВМ)	Проба	320	0,0276	-	ССН вып.2, табл.59	8,832
	Камеральные работы (с использованием ЭВМ)	Проба	320	0,0401	-	ССН вып.2, табл. 61	12,832
<b>Итого:</b>							34,484 смен

### 5.3 Нормы расхода материала

Нормы расхода материалов для эколого-геохимических, лабораторных и камеральных работ также определялись согласно ССН, выпуск 2, а также инструкциям и методическим рекомендациям. Результаты расчета затрат на материалы представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Расходы материалов

Наименование и характеристика изделия	Единица	Цена, руб.	Норма расхода	ССН	Сумма, руб.
Эколого-геохимические работы					
Журнал регистрационный	шт.	56	1,9	вып. 2, табл. 49	106,4
Карандаш простой	шт.	3	5,8	вып. 2, табл. 49	17,4
Резинка ученическая	шт.	6	0,95	вып. 2, табл. 49	5,7
Пакеты полиэтиленовые фасовочные	шт.	0,2	21	вып. 2, табл. 50	4,2
Книжка этикетная	книжка (300 шт.)	22	1,48	вып. 2, табл. 50	32,56

#### Продолжение таблицы 5.4

Наименование и характеристика изделия	Единица	Цена, руб.	Норма расхода	ССН	Сумма, руб.
Спирт этиловый технический марки А гидролизный	л	75	1,7	вып. 7а, табл. 5	127,5
Вата стерильная хирургическая	кг	148	0,6	вып. 7а, табл. 5	88,8
<b>Итого:</b>					<b>382,56</b>
Лабораторные работы					
Весы аналитические электронные	шт.	75000	1		75000
<b>Итого:</b>					<b>75000</b>
Камеральные работы					
Бумага офисная	пачка (100 л)	165	0,03	вып. 2, табл. 62	4,95
Ручка шариковая (без стержня)	шт.	2	0,55	вып. 2, табл. 62	1,1
Стержень для ручки шариковой	шт.	0,7	2,47	вып. 2, табл. 62	1,73
<b>Итого:</b>					<b>7,78</b>
<b>Итого:</b>					<b>75390,34</b>

#### 5.4 Расчет амортизационных отчислений

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов, и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Расчет амортизационных отчислений (за год) представлен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Кол-во	Балансовая стоимость, руб.		Годовая норма амортизации, %	Время полезного использования, %	Сумма амортизации, руб. (за год)
		Одного объекта	всего			
Компьютер (ЭВМ)	1	54 000	54 000	10	100	5 400
<b>ИТОГО за период проведения исследований:</b>						<b>450</b>

#### 5.5 Общий расчет сметной стоимости

Общий расчет сметной стоимости оформляется по типовой форме. Накладные расходы составляют 15% основных расходов. Сумма плановых

накоплений составляет 20% суммы основных и накладных расходов. Сумма доплат рабочим равняется 7,9% от суммы основных и накладных расходов. Резерв на непредвидимые работы и затраты колеблется от 3%. Сметно-финансовый расчет на проектно-сметные работы представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 - Сметно-финансовый отчет

№	Статьи основных расходов	Загрузка, коэф.	Оклад за месяц	Премия	Районный коэффициент	Итого
1	Рабочий 2 категории	0,68	7000	0,2	1,3	7425,6
2					Итого: ФОТ	7425,6
3	Дополнительная з/п (7.9%)					586,6
4					Итого: ФЗП	8012,2
5	ЕСН (30% от ФЗП)					2403,7
6	Материалы (3% от ЗП)					222,8
7	Амортизация (1.5% от ЗП)					111,4
8	Командировки (2% от ЗП)					148,5
9	Резерв (0.5% от ЗП)					37,1
<b>Итого:</b>						<b>10935,7</b>

Отбор проб хвой в Томском районе осуществлялся выездом в следующие населенные пункты: Киргизка, Эушта, Корнилово, Киреевск, Светлый, Дзержинское, Заварзино, Богашево, Тимирязево. Транспортировка рабочего производилась на общественном транспорте (автобусе) из г. Томска в исследуемый населенный пункт и обратно. Общая стоимость транспортировки рабочего и проб составила 828 рублей.

Далее следует общий расчет затрат на производство работ. Общий расчет сметной стоимости всех работ отображен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 - Общий расчет сметной стоимости работ

№	Наименование работ и затрат	Объём		Полная сметная стоимость, руб.
		Ед. изм	Количество	
<b>I</b>	<b>Основные расходы</b>			
1	Проектно-сметные работы (затраты на оплату труда)			10935,7
4	Камеральные работы			7,78
5	Транспортные расходы			828
6	Амортизационные отчисления (за период проведения работ)			450
<i>Итого основных расходов (ОР):</i>				<i>12221,5</i>
<b>II</b>	<b>Накладные расходы</b>	% от ОР	15	1833,2

Продолжение таблицы 5.7

№	Наименование работ и затрат	Объём		Полная сметная стоимость, руб.
		Ед. изм	Количество	
<i>Итого: основные и накладные расходы (ОР+НР)</i>		<i>14054,7</i>		
<b>III</b>	<b><i>Плановые накопления</i></b>	% от НР+ОР	20	2810,9
<b>IV</b>	<b><i>Резерв</i></b>	% от ОР	3	36,6
<i>Итого сметная стоимость</i>		<i>16902,2</i>		
НДС		%	18	3042,4
<b>Итого с учётом НДС</b>		<b>19944,6</b>		

Таким образом, стоимость исследований ртутной нагрузки на хвою голосеменных растений Сибири и Дальнего Востока составила 19944 рубля 60 копеек (девятнадцать тысяч девятьсот сорок четыре рубля шестьдесят копеек).

### **Выводы к главе 5**

В ходе исследования были выполнены эколого-геохимические, лабораторные и камеральные работы. Было отобрано 56 проб хвои в Томском районе. На территориях Томской области, Алтайского края, Республики Бурятия, Иркутской области и Республики Саха образцы хвои отобраны научными сотрудниками Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) в ходе экспедиции. Во всех образцах проб определена концентрация ртути, полученные данные проанализированы. В результате, общий расчет сметной стоимости работ составил 19944 рубля 60 копеек.

## Заключение

Ртуть является уникальным металлом, относится к I-му классу опасности, накапливаясь во всех компонентах окружающей среды, негативно и губительно влияет на живые организмы. Токсична, трудно уловима, требует постоянного мониторинга в объектах окружающей среды, является одним из загрязнителей атмосферного воздуха. Хвоя является практичным и информативным биоиндикатором загрязнения атмосферного воздуха, который выбран для исследования.

Изучили физико-химические и токсикологические свойства ртути, её распространение в окружающей среде. Определили содержание ртути в хвое и выявили особенности накопления ртути в хвое в зависимости от вида дерева, возраста хвои, климатических и ландшафтных характеристик исследованных территорий.

В результате проведенных исследований по изучению содержания ртути в хвое голосеменных растений и особенностей ртутной нагрузки на территории Сибири и Дальнего Востока выявлено, что:

- ✓ среднее содержание ртути в хвое Томской области составляет 23 нг/г, Алтайского края и Республики Бурятия – 15 нг/г, Иркутской области – 14 нг/г, в хвое Республики Саха (Якутия) – 47 нг/г;

- ✓ максимальная концентрация ртути отмечается в хвое кедра Республики Саха (Якутия) (47 нг/г), минимальная – в хвое лиственницы Республики Бурятия и сосны Иркутской области (12 нг/г);

- ✓ концентрация ртути в хвое увеличивается по мере её старения в хвое ели Томской области и Республики Бурятия, сосны Алтайского края. В хвое кедра, сосны, пихты и кедрового стланика максимальная концентрация отмечается с 3-х, 4-х летнего возраста, которая значимо не меняется по мере старения хвои;

- ✓ отмечается снижение среднего содержания ртути в хвое, отобранной на территории Томской области в 2003-2013 гг., более чем в 5

раз, что объясняется снижением технофильности ртути, единственного элемента из всех изучаемых;

- ✓ на территории Томской района, подверженному антропогенному влиянию, наблюдаются наибольшие накопления ртути в хвое в отличие от фоновой территории (Томской области). В Республике Бурятия выявлено уменьшение содержания ртути в хвое с увеличением высоты над уровнем моря;

- ✓ расчеты взаимосвязи содержания ртути в хвое с климатическими показателями температуры воздуха и количеством осадков показывают обратную связь с температурой для большинства точек исследования, как за вегетационный период, так и в течение года, однако неоднородность связи с количеством осадков;

- ✓ средняя концентрация ртути в хвое Западной Сибири превышает фоновое значение в 5 раз (ВДК=3), в Восточной Сибири – в 4 раза (ВДК=2), на Дальнем Востоке – в 12 раз (ВДК=6), что свидетельствует о повышенной ртутной нагрузке на Дальнем Востоке по сравнению с Сибирским регионом.

Изучение содержания ртути, как тяжелого металла и элемента первого класса опасности, является важным и необходимым. Результаты работы по определению влияния ртути на голосеменные растения и её содержания в них на территории Сибири и Дальнего Востока могут представлять интерес для органов и организаций экологического контроля этих регионов. Полученные данные важны для оценки экологического состояния как урбанизированных, так и фоновых территорий.

### Список использованных источников:

- 1 Алексеевко В.А. Экологическая геохимия: Учебник. - М.: Логос, 2000. - 627 с.
- 2 Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И. и др. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития, т.3. - 1995. № 1-2. - С. 69-111.
- 3 Антипов А. Б. Ртутный мониторинг окружающей среды / А.Б. Антипов, Е.Ю. Тенина и др. // Оптика атмосферы и океана, т. 15 - 2002. - №1. - С. 81-87.
- 4 Артамонов В. И. Растения и чистота природной среды. – М.: Наука, 1986. - 157 с.
- 5 Артамонова В. Г. Биомониторинг ртути - проблемы и пути решения. Ртуть. Комплексная система безопасности / В.Г. Артамонова, Е.К. Полканова // Сборник материалов III научно-технической конференции. – 1999. С. 125-127.
- 6 Аугустайтис А. А. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды: автореф. дисс. канд. биол. наук. – М.: 1992. – С. 22.
- 7 Афанасьева Л. В. Влияние атмосферного промышленного загрязнения на сосновые леса бассейна реки Селенги: автореф. дисс. канд. биол. наук. – Улан-Удэ, 2005. – С. 19.
- 8 Афанасьева Л.В., Кашин В.К., Плешанов А.С. и др. Элементный состав хвои и морфометрические параметры сосны обыкновенной в условиях атмосферного промышленного загрязнения в Западном Забайкалье // Хвойные бореальные зоны. - 2004. - Выпуск 2. - С. 112-119.
- 9 Афанасьева Л.В., Михайлова Т.А., Кашин В.К. Состояние сосновых древостоев в условиях техногенного загрязнения в Республике Бурятия // Растительные ресурсы, т. 46. – 2010. - Выпуск 2. -С. 51 - 60.



- 10 Башаркевич И. Л., Самаев С. Б. Состояние древесной растительности в Москве и особенности микроэлементного состава // Проблемы управления качеством окружающей среды: Сборник докладов IV Международной конференции. – М. Прима-Пресс, 1999. – С. 215 –217.
- 11 Бережная Н. С. Трансформация сосновых лесов Верхнего Приангарья, загрязняемых фторсодержащими эмиссиями: автореф. дисс. канд. биол. наук. – Иркутск, 2005. – С. 19.
- 12 Бернатонис, В.К. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота / В.К. Бернатонис, В.С. Архипов, М.А. Здвижков // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М.В. Кабанова. - Томск: изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. - С. 204-216.
- 13 Болота Западно-Сибирской равнины / О.Л Лисс, Н.А. Березина - М.: Изд-во МГУ, 1981. - С. 205.
- 14 Бондаренко, А. П. Восстановление нарушенных ландшафтов. Ртуть в окружающей среде. ПХЗ: учебное пособие / А.П. Бондаренко, А.В. Ермиенко. - Павлодар, 2007. - 164 с.
- 15 Варшал, Г. М. Исследование сосуществующих форм ртути (II) в поверхностных водах / Г.М. Варшал, Н.С. Буачидзе // Журн. аналит. химии, т. 38. - 1983. - №12. - С. 215-218.
- 16 Васюганское болото (природные условия, структура и функционирование). Томск: ЦНТИ, 2003. - С. 212.
- 17 Васюганское болото: природные условия, структура и функционирование. Томск: ЦНТИ, 2000. - С. 136.
- 18 Виноградов В. Н. Пары ртути в помещениях / В.Н. Виноградов, Г.В. Милков, Б.П. Лашков. - СПб.: Рудгеофизика, 1991. - С. 3-6.
- 19 Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

- 20 Гитарский М. Л. Влияние техногенного загрязнения на состояние сосновых насаждений Кольского Севера: автореф. дисс. канд. биол. наук. – М., 1993. – 23 с.
- 21 Гладышев В. П. Аналитическая химия ртути / В.П. Гладышев, С.А. Левицкая, Л.М. Филиппова. - М: Наука, 1974. - 228 с.
- 22 Глухов А. З., Остапко И. Н., Суслова Е. П. Изучение *Juniperus communis* L в условиях промышленного города // Проблемы озеленения городов: альм. - М.: Прима, 2004. - С. 98–99.
- 23 Головацкий Ю.А. Содержание ртути в эвтрофных болотах Томской области / Ю.А. Головацкий, Е.А. Головацкая // Материалы второй научной школы “Болота и биосфера”. Томск, 2003. - С.110-116.
- 24 Гребенщикова В. И. Миграция ртути с атмосферными осадками в Прибайкалье / В.И. Гребенщикова, М.С. Пастухов, М.С. Акимова // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. - С. 104-109.
- 25 Демич Ю. А. Содержание тяжелых металлов в объектах окружающей среды и состояние растительных популяций / Ю.А. Демич // Вестник СамГУ (естественно научная серия). -2006. - № 7. - С. 45-53.
- 26 Добыча и производство ртути в СНГ как источник загрязнения окружающей среды / Е.П. Янин // Эколого-геохимические проблемы ртути (сборник научных статей). - М.: ИМГРЭ, 2000. - С. 38-60.
- 27 Ермаков В.В. Биогенная миграция и детоксикация ртути // Материала международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». - М.: ГЕОХИ РАН, 2010, С. 5-14.
- 28 Ершов Ю. А. Механизмы токсикологического действия неорганических соединений / Ю.А. Ершов, Т.В. Плетнева. - М.: Медицина, 1989. – 214 с.
- 29 Зубарева О. Н. Влияние выбросов промышленных предприятий в Средней Сибири на сосну обыкновенную: автореф. дисс. канд. биол. наук. – Красноярск, 1993. – 21 с.

- 30 Иванов В.В. «Экологическая геохимия элементов». Справочник. - М.: «Экология», кн. 5, 1997. - С. 576.
- 31 Игнатъева О. В. Элементный состав хвои и морфофизиологические показатели сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения: автореф. дисс. канд. биол. наук. – Красноярск, 2005. – 18 с.
- 32 Инишева Л.И., Архипов В.С., Маслов С.Г. и др. Торфяные ресурсы Томской области и их использование. - Новосибирск, 1995. - С. 88.
- 33 Исидоров В. А. Экологическая химия / В.А. Исидоров. - Санкт-Петербург: Химиздат, 2001. - С. 304.
- 34 К фитогеохимии ртути / А.П. Большаков, Н.И. Дьякова, Л.И. Птушко и др. // Биогеохимия растений. Труды бурятского института естественных наук. - 1969. - Вып. 2- С. 183-189.
- 35 Касимов Н. С., Власов Д. В. Технофильность химических элементов в начале XXI века // Вестник Московского университета. Серия 5. География. - 2012. - № 1. - С. 15–22.
- 36 Лапердина Т. Г. Определение ртути в природных водах / Т.Г. Лапердина. - Новосибирск: Наука, 2000. – С. 222.
- 37 Либберт Э. Физиология растений. - М.: Мир, 1976. - С.11.
- 38 Лобанова З. М. Экология и защита биосферы: Учебное пособие. Доп. и перераб./Алт.гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова.- Барнаул: Изд-во Алт ГТУ, 2009. - 228 с.
- 39 Ляпина Е.Е. Шворнева Е.В. Накопление и распределение ртути в компонентах окружающей среды северо-запада Алтайского края // Тезисы Всероссийской научной конференции и школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов «Ртуть и другие тяжелые металлы в экосистемах. Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде» / Отв. ред. Е.С. Иванова. - Череповец: Череповецкий гос. ун-т. - 2018. - С. 38-39.

- 40 Ляпина Е.Е., Ветрова Е.В., Воропай Н.Н. Содержание ртути в хвое юго-запада Прибайкалья // *Аэрозоли Сибири. XXIII Рабочая группа: Тезисы докладов.* - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2016. - 116 с.
- 41 Ляпина Е.Е., Шворнева Е.В. Особенности ртутной нагрузки на территорию Томского района по данным биоиндикационных исследований // *Аэрозоли Сибири. XXIV Рабочая группа: Тезисы докладов.* - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. - 42 с.
- 42 Ляпина Е.Е., Шворнева Е.В. Оценка ртутной нагрузки на территорию Алтайского края по данным биоиндикационных исследований // *Науки о Земле. Современное состояние: материалы IV Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции.* – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - с. 133-135.
- 43 Ляпина Е.Е., Шворнева Е.В. Содержание и особенности накопления ртути хвойными Томской области // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXIII Международного симпозиума.* - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. - с. С.161-164.
- 44 Ляпина Е.Е., Шворнева Е.В. Содержание ртути в хвое Восточной и Западной Сибири // В сборнике: **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ** материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-ВООМ». - Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2016. - С. 179-184.
- 45 Ляпина Е.Е., Шворнева Е.В., Воропай Н.Н. Содержание ртути в хвое юго-западного Прибайкалья // *Оптика атмосферы и океана*, т. 31. - 2018. - № 1. - С. 69-72.
- 46 Ляпина Е.Е. Экогеохимия ртути в природных средах Томского региона: автореф. дисс. канд. геол.-минер. наук. – Томск, 2012. - 154 с.
- 47 Митрофанов Д.П. Химический состав лесных растений Сибири. - "Наука", Сибирское отд-ние, 1977. - 118 с.

- 48 Михайлова Т.А., Калугина О.В., Афанасьева Л.В. и др. Тренды содержания химических элементов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных условиях произрастания и при техногенной нагрузке // Сибирский экологический журнал. – 2010. - № 2. - С. 239–247.
- 49 Моисеенко В.Г., Радомская В.И., Радомский С.М. и др. Интоксикация человеческого организма металлической ртутью. // Вестник ДВО РАН. – 2004. - №3. - С. 100-110.
- 50 Надеин А.Ф., Тарханов С.Н., Лобанова О.А. Экосистема северной тайги вокруг г. Архангельска: оценка состояния // Экология и промышленность России. - 1999. - №12. - С.9-11
- 51 Неверова О. А., Николаевский В. С. Изучение механизмов поступления свинца в древесные растения // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета. – 2004. – № 5 (40). – С. 159–164.
- 52 Неверова О. А. Экологическая оценка состояния древесных растений и загрязнения окружающей среды промышленного города (на примере г. Кемерово): автореф. дисс. . д-ра биол. наук. – М., 2004. – С. 37.
- 53 Николаевский В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. – М.: МГУЛ, 1999. - 193 с.
- 54 Основы биогеохимии: учебник для студ. ВУЗов / В.В. Добровольский. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 400 с.
- 55 Петросян В. С. Глобальное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями // Россия в окружающем мире: 2006 (Аналитический ежегодник) / Под общ. ред. Н.Н. Марфенина, С.А. Степанова. - М.: МНЭПУ, Авант, 2007. - С.149-163.
- 56 Растения в экстремальных условиях питания: Эколого-физиологические исследования / под ред. М.Я. Школьника, Н.В. Алексеевой-Поповой. - Л.: Наука, 1983. - с. 176.

- 57 Рихванов, Л. П. Содержание тяжелых металлов в почвах: учебное пособие / Л.П. Рихванов, Е.Г. Языков, С.И. Сарнаев. - Томск: ТПУ, 1993. - С. 83.
- 58 Смит У. Х. Лес и атмосфера. – М.: Прогресс, 1985. – 429 с.
- 59 Состояние зеленых насаждений и городских лесов в Москве: аналит. доклад. – М.: Прима Пресс, 2000. – 276 с.
- 60 Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Щербов Б.Л. Распределение ртути в компонентах окружающей среды Сибири // Химия в интересах устойчивого развития, т. 20. – 2010. - №1. - С. 117-123.
- 61 Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) / Г.А. Теплая // Астраханский вестник экологического образования. - 2013. - №1 (23). – С.182.
- 62 Токарева Т. Г. Экологическая оценка техногенного воздействия на еловые леса Кольского полуострова: дисс. канд. биол. наук. – М., 1992. – 165 с.
- 63 Химико-термодинамические аспекты состояния ртути в пресных поверхностных водах и атмосфере / В.И. Белеванцев, Л.В. Гущина, А.А. Оболенский и др.// Химия в интересах устойчивого развития, т.3. – 1995. - № 1-2. - С. 3-10.
- 64 Химическая энциклопедия: в 5 т. / Под ред. Н. С. Зефирова. - Москва: Советская энциклопедия, 1995. - Т.4. - С. 278.
- 65 Черненькова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение /Т.В. Черненькова. - М: Наука, 2002. – 191 с.
- 66 Шворнева Е.В. Содержание и особенности накопления ртути в хвое на территории Сибирского региона. Научный руководитель старший преподаватель Е.Е. Ляпина. Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. Том I / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 847-849 с.

- 67 Шворнева Е.В. Хвоя как индикатор ртутной нагрузки на территорию Сибири и Дальнего Востока // Научный руководитель научный сотрудник ИМКЭС СО РАН (г. Томск) Е.Е. Ляпина, старший преподаватель Е.А. Филимоненко. Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», посвященном 155-летию со дня рождения академика В. А. Обручева, 135 - летию со дня рождения академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири. Том & / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 112 с.
- 68 Шворнева Е.В., Ляпина Е.Е., Воропай Н.Н. Содержание и особенности накопления ртути в хвое кедра сибирского (PINUS SIBIRICA) // В сборнике: ВСЕМИРНЫЙ ДЕНЬ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ- 2017) Материалы Международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 326-329.
- 69 Шворнева Е.В., Ляпина Е.Е., Воропай Н.Н. Содержание и особенности накопления ртути в хвое сосны обыкновенной (PINUS SYLVESTRIS L.) // В книге: Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климатоло-экологическому мониторингу Тезисы докладов российской конференции. /Под ред. М.В. Кабанова.- 2017. - С. 183-184.
- 70 Янин Е.П. Промышленная пыль в городской среде. Москва 2003, С. 82.
- 71 Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
- 72 Янин Е. П. Ртуть. Комплексная система безопасности / Е.П. Янин, В.Г. Артамонова, Е.К. Полканова // Сборник материалов III-й научно-технической конференции. - С-П., 1999. - С. 26, 125.
- 73 Aboal J.R Sampling optimization, at site scale, in contamination monitoring with moss, pine and oak / J.R. Aboal, J.A. Fernandez, A. Carballeira // - Environmental Pollution 115, 2001. – P. 313-316.

- 74 Gaffney JS, Marley NA. The impacts of combustion emissions on air quality and climate – from coal to biofuels and beyond. *Atmos Environ.* - 2009;43:23–36.
- 75 J. O. Duruibe, M. O. C. Ogwuegbu, and J. N. Egwurugwu, «Heavy metal pollution and human biotoxic effects», *International Journal of Physical Sciences.* – 2007/ - vol. 2/ - P. 112–118.
- 76 Liu G, Cai Y, O’Driscoll N. *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury.* Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012.
- 77 P. C. Nagajyoti, K. D. Lee, and T. V. M. Sreekanth, «Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review», *Environmental Chemistry Letters.* - 2010. - vol. 8, no. 3/ - P. 199–216.
- 78 Pacyna EG, Pacyna JM, Sundseth K, et al. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020. *Atmos Environ.* - 2010;40:2487–2499.
- 79 Pirrone N, Cinnirella S, Feng X, et al. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmos Chem Phys.* - 2010;10:5951–5964.
- 80 Pirrone N, Mason RP, editors. *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements, and Models.* New York, NY, USA: Springer, 2009.
- 81 Querol X, Alastuey A, Puigercus JA, et al. Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: particulate levels and sources. *Atmos Environ.* - 1998;32:1963–1978.
- 82 Schuster PF, Krabbenhoft DP, Naftz DL, et al. Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: a glacial ice core record of natural and anthropogenic sources. *Environ Sci Technol.* - 2002;36:2303–2310.
- 83 Slemr F, Brunke E-G, Ebinghaus R, et al. Worldwide trend of atmospheric mercury since 1977. *Geophys Res Lett.* - 2003;30:1516–1520.
- 84 Steinnes E., Sjøibakk T.E. Order-of-magnitude increase of Hg in Norwegian peat profiles since the outset of industrial activity in Europe // *Environmental Pollution*, 137 (2005). - P. 365-370.



85 United Nations Environmental Programme. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases, and Transport. Geneva, Switzerland: United Nations Environmental Programme Chemicals, 2013.

86 Varekamp JC, Buseck PR. Global mercury flux from volcanic and geothermal sources. Appl Geochem. -1986;1:65–73.

87 Yudovich YE, Ketris MP. Mercury in coal: geochemistry. International Journal of Coal Geology. - 2005;62:107–134.

### **Нормативно-методические документы:**

88 ГН 2.2.5.686-98 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (Разделы 1-2).

89 ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

90 ГОСТ 12.4.009-83. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

91 ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.

92 ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

93 ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

94 ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимое значения напряжений прикосновения и токов.

95 ГОСТ 12.1.009–76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения.

96 ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих. – Введ. 1990-01-07. - М.: Гос. комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.

97 ГОСТ Р ИСО 26000 – 2012 Руководство по социальной ответственности.

- 98 НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Введ. 2003-01-08. - М.: Стандартиформ, 2003. – 31 с.
- 99 Учет и оценка природных ресурсов и экологического состояния территорий различного функционального использования. Методические рекомендации. – М.: ИМГРЭ, 1996, – 88 с.
- 100 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях. – Введ. 2003-04-09. - М.: Стандартиформ, 2003. – 6 с
- 101 ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание, дополненное с исправлениями. Новосибирск – 2006.
- 102 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 103 СанПиН 2.2.4.548-96. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
- 104 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение
- 105 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 10.07.2012) // Собрание законодательства. – 2008. – С. 87–140.
- 106 Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ (ред. от 10.07.2012) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
- 107 Федеральный закон от 28.12.2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».

### Интернет-ресурсы:

108 Верхоянский улус (район) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/FS/Yakutiya/Soderjanie/VI/Pavlov.pdf> (дата обращения 20.03.2018)

109 Карта Алтайского края [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.com/maps/place/Алтайский+край> (дата обращения 20.03.2018)

110 Карта Бакчарского района Томской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.com/maps/place/Бакчарский+р-н,+Томская+обл.> (дата обращения 20.03.2018)

111 Карта Верхоянского улуса Республики Саха (Якутия) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.google.ru/maps/place/Верхоянский+у.,+Респ.+Саха+\(Якутия\)](https://www.google.ru/maps/place/Верхоянский+у.,+Респ.+Саха+(Якутия)) (дата обращения 20.03.2018)

112 Карта Иркутской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.com/maps/place/Иркутская+обл.> (дата обращения 21.03.2018)

113 Карта Республики Бурятия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.com/maps/place/Респ.+Бурятия> (дата обращения 20.03.2018)

114 Карта Томского района [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.com/maps/place/Томский+р-н,+Томская+обл.> (дата обращения 20.03.2018)

115 Ляпина Е.Е. Геоэкологические особенности ртутной нагрузки на территорию Томской области по данным биомониторинговых исследований // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19876> (дата обращения 12.03.2018)

- 116 Минаматская конвенция о ртути [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mercuryconvention.org/> (дата обращения 12.03.2018)
- 117 Мониторинг содержания фтора и тяжелых металлов в кедровых лесах ООПТ Алтае-Саянского экорегиона, Шуркина В.В. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23072078> (дата обращения 12.03.2018)
- 118 Описание Приольхонья и Ольхона [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://baikal-1.ru> (дата обращения 21.03.2018)
- 119 Характеристика Тункинского района [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://wikipedia.org/wiki/Тункинский\\_район](http://wikipedia.org/wiki/Тункинский_район) (дата обращения 20.03.2018)
- 120 Энциклопедия Кулудинской равнины [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://knowledge.su/k/kulundinskaya-ravnina-> (дата обращения 20.03.2018)

Приложение А  
(справочное)

**Characteristic of mercury and its sources**

**Студент**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ГМ61	Шворнева Елена Валерьевна		

**Руководитель ВКР**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Филимоненко Екатерина Анатольевна	Кандидат геолого- минералогических наук		

**Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Матвеевко Ирина Алексеевна	Доктор филологических наук		

## 1 General characteristic of mercury

Mercury is a naturally occurring element known as a "heavy metal" and can be toxic to living organisms. The element's atomic mass is 200,59 grams per mole and its specific gravity is 13,546 times that of water. Mercury has a melting point of  $-38,87^{\circ}\text{C}$ , a boiling point of  $356,7^{\circ}\text{C}$ , and is the only metal to remain in liquid form at room temperature. Droplets of liquid mercury are shiny and silver-white with a high surface tension, appearing rounded when on flat surfaces. The liquid is highly mobile and droplets combine easily due to low viscosity. The element also combines with other metals such as tin, copper, gold and silver to form mercury alloys known as amalgams. Mercury has a relatively high vapour pressure and the highest volatility of any metal, vapourizing to become a colourless, odourless gas. The metal is a fair conductor of electricity, but a poor conductor of heat.

Mercury's atomic number is 80. In nature, mercury has 3 possible conditions of electrical charge, or valence states. Elemental mercury ( $\text{Hg}^0$ ) has no electric charge. Mercury is also found in two positively charged, or cationic, states,  $\text{Hg}^{2+}$  (mercuric) and  $\text{Hg}^{1+}$  (mercurous). The mercuric cation is more stable and is generally associated with inorganic molecules, such as sulfur (in the mineral cinnabar), chlorine (mercuric chloride), oxygen and hydroxyl ions.  $\text{Hg}^{2+}$  is also found in organic (carbon based) substances like dimethylmercury ( $\text{Me}_2\text{Hg}$ ), which is far more toxic than inorganic forms of mercury and bioaccumulates in the tissues of living organisms. Since mercury can be adsorbed easily onto small particles of matter, some scientists use the notation  $\text{Hg}(\text{p})$  to represent elemental mercury attached onto or absorbed into a particle.

Mercury has unique properties (table 1).

Table 1 – Physico-chemical properties of mercury

Atomic number	80
Atomic mass	200,59
Isotopes: stable	196, 198–202, 204
unstable	191–195, 197, 199, 203, 205
Melting point, $^{\circ}\text{C}$	- 38,87
Boiling point, $^{\circ}\text{C}$	356,7
Density, $\text{g}/\text{cm}^{-3}$ , at $20^{\circ}\text{C}$	13, 546

Flintiness	Liquid
Degree of oxidation	+1, +2

Toxicological properties of mercury. Elemental mercury (Hg) is found in liquid form, which easily vaporizes at room temperature and is well absorbed (80%) through inhalation. Its lipid-soluble property allows for easy passage through the alveoli into the bloodstream and red blood cells (RBCs). Once inhaled, elemental mercury is mostly converted to an inorganic divalent or mercuric form by catalase in the erythrocytes. This inorganic form has similar properties to inorganic mercury (eg, poor lipid solubility, limited permeability to the blood brain barrier, and excretion in feces). Small amounts of nonoxidized elemental mercury continue to persist and account for central nervous system toxicity.

Elemental mercury as a vapor has the ability to penetrate the CNS, where it is ionized and trapped, attributing to its significant toxic effects. Elemental mercury is not well absorbed by the GI tract and, therefore, when ingested (eg, thermometers), is only mildly toxic.

Inorganic mercury, found mostly in the mercuric salt form (eg, batteries), is highly toxic and corrosive. It gains access to the body orally or dermally and is absorbed at a rate of 10% of that ingested. It has a nonuniform mode of distribution secondary to poor lipid solubility and accumulates mostly in the kidney, causing significant renal damage. Although poor lipid solubility characteristics limit CNS penetration, slow elimination and chronic exposure allow for significant CNS accumulation of mercuric ions and subsequent toxicity. Long-term dermal exposure to inorganic mercury may also lead to toxicity.

## 2 Sources of mercury

The releases of mercury to the biosphere can be grouped in four categories:

- Natural sources - releases due to natural mobilisation of naturally occurring mercury from the Earth's crust, such as volcanic activity and weathering of rocks;
- Current anthropogenic (associated with human activity) releases from the mobilisation of mercury impurities in raw materials such as fossil fuels – particularly coal, and to a lesser extent gas and oil – and other extracted, treated and recycled minerals;
- Current anthropogenic releases resulting from mercury used intentionally in products and processes, due to releases during manufacturing, leaks, disposal or incineration of spent products or other releases;
- Re-mobilisation of historic anthropogenic mercury releases previously deposited in soils, sediments, water bodies, landfills and waste/tailings piles.

The figure 1 below shows these release categories with main types of possible control mechanisms.

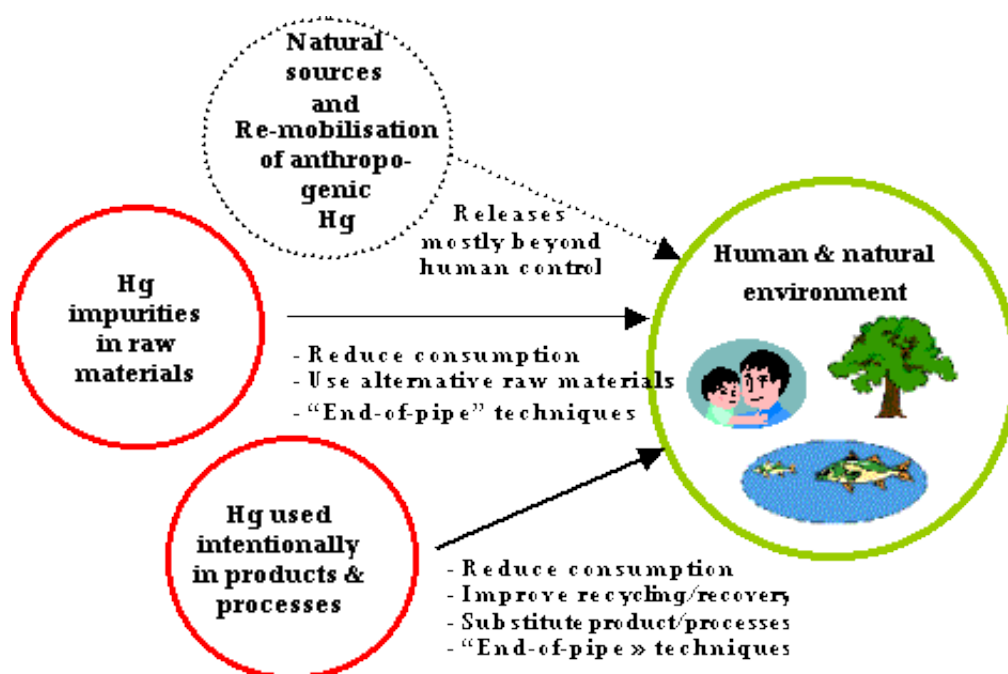


Figure 1 - The releases of mercury to the biosphere



### Natural sources of mercury

Mercury is not required by plants, but accumulates in the leaves and needles after direct uptake from the air analogous to sulphur, fluorine and chlorine. The occurring concentrations of mercury don't have a direct phytotoxic effect, but cause damage to the forest ecosystem.

Mercury is an element that occurs naturally throughout our solar system. On Earth, geological deposits are most often found in the form of, a mercury sulfide mineral. The mercury content in this mineral, the most important ore of mercury, can reach 86%. Granite can contain 0.2 ppm (parts per million) of mercury, while other crustal rocks tend to contain less (approximately 0.1 ppm). Various natural processes, including volcanic eruptions, the weathering of rocks, and under sea vents can release mercury from the Earth's crust into water bodies, soils, and the atmosphere. In fact, atmospheric measurements of mercury above Hawaiian and Icelandic volcanoes are orders of magnitude above normal background atmospheric levels.

Once mercury is exposed to the biosphere it can enter the biogeochemical cycle or it can be transported long distances through the atmosphere. As mercury becomes incorporated into the biosphere, measurable releases can also be attributed to vegetation, forest fires, water bodies, sea salt spray, and soils. Although natural emissions occur mainly as elemental mercury vapour ( $\text{Hg}^0$ ), particulate and vaporous oxides, sulphides and halides as well as methylmercury vapour may also be released.

Natural sources subdivided on global, regional and local. The products of eruption of volcanoes and particles are formed at aeration of rocks and the World Ocean, an underground and surface water of the earth. Regional sources are large deposits of ore containing mercury. As local sources only certain small ore fields act.

During the modern researches location of mercury was revealed its high content in an Earth's mantle. Result process of decontamination and natural evaporation of mercury from rocks, soils, waters, the is a phenomenon which is

called "mercury breath of Earth" or natural emission. All these processes proceed continuously and amplify at eruptions of volcanoes, earthquakes, the geothermal phenomena, etc. About 3000 tons per year of mercury intake to the environment as a result of "mercury breath of Earth".

### Atmospheric mercury trends

Since mercury is naturally occurring and found throughout the world, there are many natural emission sources that result in a background level of mercury in the environment. This low level mercury background level has existed since before recorded history. However, historical records obtained from measurements made in ice cores, lake sediments, and peat show that environmental mercury levels have increased considerably since the beginning of the industrial age [82]. Measurements of long-term atmospheric mercury deposition to the Upper Fremont Glacier in Wyoming shown in Figure 3 are a good indication of the historical trend of mercury in the atmosphere over a period of 270 years [82,83]. Measurements at this high altitude, remote location suggested a preindustrial background concentration of 3–4 ng/L when not influenced by short-term emissions (<2 years) from volcanic activity, such as the Mount Tambora eruption in Sumbawa, Indonesia, in 1815 AD. Significant increases over this background level in Upper Fremont Glacier samples generally coincide with changes in human activities from 1848 to the present day.

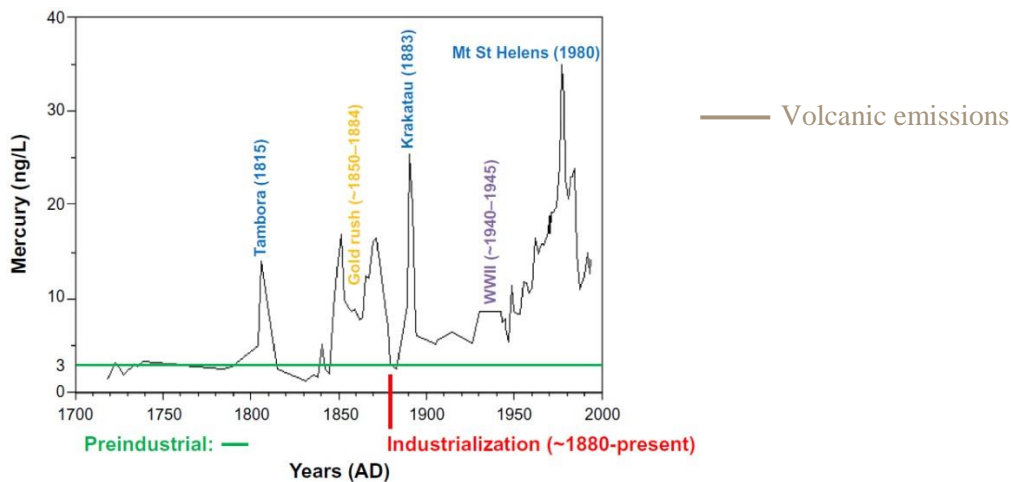


Figure 2 - Mercury concentrations measured in ice cores obtained from the Upper Fremont Glacier in the Wind River Mountain Range of Wyoming

Atmospheric mercury deposition was observed to increase from 1848 to around 1885, coinciding with the increased use of mercury in hydraulic gold mining operations throughout the western USA during this period. These mining operations were the most significant anthropogenic source of mercury in the first 170 years covered by the Upper Fremont Glacier record and peaked around 1860 and again about 1877 [82]. The use of mercury in gold mining ended in 1884 with the Sawyer decision, which banned the use of hydraulic mining due to the pollution and environmental damage it caused. This end to hydraulic mining was accompanied by a decrease in mercury concentrations in the Upper Fremont Glacier samples to approximately background levels. The mercury signal from the eruption of the Krakatoa super caldera occurred in 1883, shortly after the decline from the gold rush era. The increased mercury emissions from Krakatoa dissipated around 1885, returning to a steady level of about 6–7 ng/L. Mercury deposition increased again to levels of about 10 ng/L from about 1930 to 1945, corresponding roughly to the increased mobilization during World War II. After 1945, mercury levels continued to rise, with a peak in the 1980s that was 20 times higher than preindustrial levels.

Results from the Upper Fremont Glacier samples indicate that during the last 100 years there has been a 70% rise in atmospheric mercury levels over the natural background levels measured prior to industrialization. This trend is similar to that obtained from lake sediment measurements made in the upper Midwest. However, recent mercury concentrations in the Upper Fremont Glacier samples were seen to decline during the 1990s, from the peak value of 20 times the background levels to approximately eleven times the preindustrial levels [82]. This recent downward trend is consistent with direct measurements of atmospheric mercury made worldwide [83].

### **Current anthropogenic sources**

The relative contributions of major current anthropogenic sources to atmospheric mercury emissions, according to the 2013 United Nations Environment Programme global mercury assessment, are shown in Figure

3[86]. The current anthropogenic sources of mercury emission to the environment fall into two major categories. The first is in processes where release of mercury occurs because it is present in fuels or raw materials as an impurity. Mercury emissions resulting from these impurities are sometimes referred to as “unintentional” or “byproduct” emissions. The main sources of atmospheric mercury in this category are coal burning (33%) and mining and smelting activities (22%), with minor contributions from combustion of oil and natural gas (1%) and oil refining (1%). The second category includes releases from products or processes where mercury is used intentionally. The largest source of atmospheric mercury in this category is small-scale gold mining (37%), followed by disposal or processing of waste from consumer products (5%). Other intentional sources of mercury emissions arise from its use in the chlor-alkali industry (1%) and release from dental fillings during human cremation (<1%).

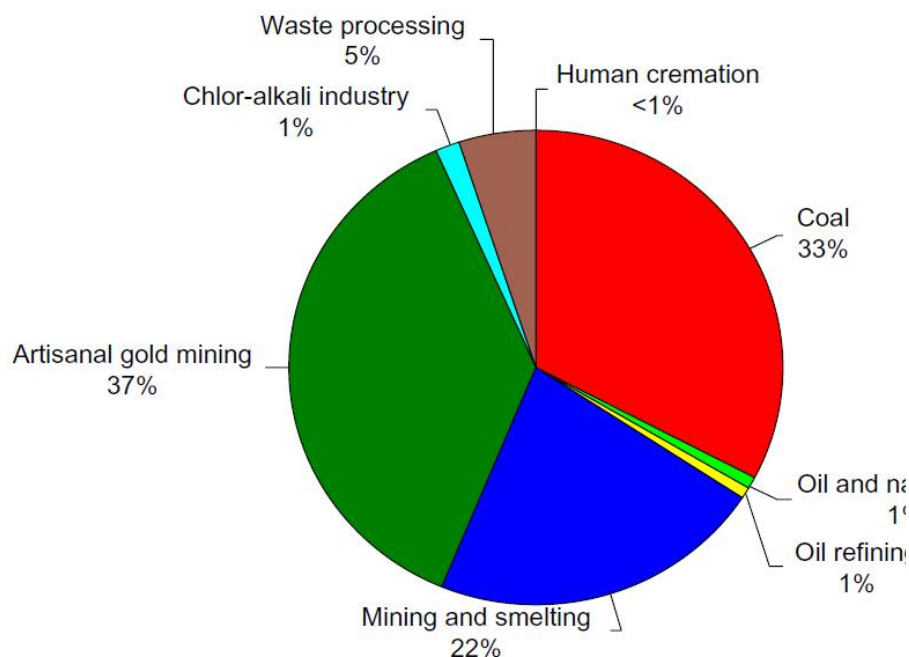


Figure 3 - Relative contributions of estimated mercury emissions to the atmosphere from current anthropogenic sources.

The combustion of coal is the most significant source of “unintentional” current anthropogenic mercury emissions, resulting in the release of about 647 tonnes to the atmosphere each year, 33% of the total current anthropogenic emissions.<sup>44</sup> Coal is used to fire kilns in cement production and in commercial and

residential heating. However, more than 85% of mercury emissions from coal are from electrical power generation. The concentration of mercury in coal is relatively low, ranging from 0.01 to 1.5 g/Mg, with a worldwide average of about 0.1 g/Mg [79, 87]. However, the very large volumes of coal burned worldwide (6,118 Tg in 2006) result in large significant emissions from this source [79].

The mercury that is emitted from electrical power plants is released directly into the atmosphere in any combination of three forms, ie, vapor phase elemental mercury, vapor phase mercury (II) compounds, or mercury that is adsorbed onto particulate surfaces [81]. The major emission species are dependent on the type and moisture content of the coal and its combustion temperature. In general, the majority of mercury emission from combustion of bituminous coal is mercury(II), while the majority of mercury released from the combustion of sub-bituminous and lignite coal is elemental mercury. The amount of mercury released is also determined by the type and efficiency of emission control equipment used. Electrostatic precipitators and fabric filters are commonly used for particulate control worldwide, and while these technologies, if properly maintained, are efficient in removing > 99% of the particulates produced in combustion, approximately 900 tonnes of particulates are still emitted to the atmosphere each year due to the large amounts of coal burned [74, 81]. Flue gas desulfurization units used to remove gas phase emissions, such as sulfur dioxide, are designed specifically to remove acidic species from combustion gases and thus are not very effective for controlling elemental mercury emissions [78, 79, 80,85]. The major species emitted to the atmosphere from the combustion of coal in electrical power plants are the vapor phase species, ie, elemental mercury from lignite and sub-bituminous coal and mercury(II) from bituminous coal.

Mercury emission to the atmosphere from the combustion of oil and natural gas, which is estimated to be about 10 tonnes per year, is a minor contribution (1%) of the total current anthropogenic emissions compared with emissions from coal combustion [86]. Fuel oils are used by some electrical power utilities and for commercial, industrial, and residential heating. The mercury content of fuel oils

ranges from 0.01 to 30 g/Mg, with an average of 3.5 g/Mg [79]. The heavier distillate fractions of fuel oils commonly used in residential heating contain higher levels of mercury while lighter distillate fractions contain less mercury. The mercury content of natural gas varies widely from 0.01 to 5,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  depending on the geological location. However, since mercury can amalgamate with other metals commonly used in gas processing plants, causing corrosion of equipment, efforts are usually made to remove mercury from the gas stream before processing. The magnitude of mercury emissions from natural gas combustion depends on the mercury content of the gas before processing and the extent to which mercury removal has been achieved.

Oil refining is estimated to release approximately 16 tonnes per year of mercury to the atmosphere, representing 1% of total current anthropogenic emissions [86]. As with natural gas, mercury levels in crude oil can be widely variable, both between and within reservoirs. Releases of mercury to the atmosphere during the refining process are low because petroleum refineries also make an effort to remove mercury from the crude before processing due to problems associated with amalgamation of aluminum in refining equipment. However, common methods of mercury removal use disposable solid adsorbents. These mercury-containing adsorbents are released in industrial solid waste, which is disposed of in landfills. The mercury contained in this industrial waste may slowly be leached into aquatic and terrestrial environments. An estimated 0.6 tonnes per year of mercury is released to aqueous environments from oil refining [86].

Mining and industrial processing of ores are important global sources of mercury emissions to both air and water. Mining and ore processing involve extraction of the desired metals from the surrounding minerals. The ore is processed by crushing and washing, followed by various physical or chemical separation processes. Often, the ore goes through a refining process that includes chemical reduction followed by heating the ore to high temperatures. This process releases elemental mercury into the air while other metals remain behind. The

amount of mercury released in this process depends on the concentration of mercury in the ore.

Estimated total global emissions from mining and ore processing are approximately 430 tonnes per year (22% of the total current anthropogenic emissions) to the atmosphere and 114 tonnes per year to aqueous systems [86]. The releases directly to the atmosphere include: emissions from large-scale gold mining operations (97 tonnes per year); primary production of nonferrous metals, ie, aluminum, copper, lead, and zinc (193 tonnes per year); primary production of ferrous metals, ie, pig iron, cast iron, and steel (46 tonnes per year); and mercury mining operations (12 tonnes per year). The mining and extraction of mercury itself is currently a minor source of atmospheric emissions due to the preference for recycling and reuse as a source of mercury. However, mercury emission to soil and water from contamination sites associated with past mercury mining is estimated to be approximately 16.7 tonnes per year. Mercury emissions directly to the atmosphere from all contaminated mining sites, including abandoned mercury mines, are estimated to be approximately 83 tonnes per year [86].

The major source of emissions to the atmosphere from the intentional use of mercury is from small-scale or artisan gold mining. In these small-scale processes, miners mix elemental mercury with finely crushed gold ore silt, which creates an amalgam, with the gold separating it from the minerals. The mercury is then removed from the amalgam by heating over an open flame, volatilizing the mercury directly to the atmosphere and leaving the gold behind. It is estimated that 95% of the mercury used in these artisan gold mining operations is released to the environment, with total mercury emissions of over 1,000 tonnes per year, representing 37% of all current anthropogenic emissions [79]. Approximately 73% (727 tonnes per year) of emissions are released directly to the atmosphere from amalgam burning and volatilization from mine tailings [86]. This practice is broadly dispersed worldwide, active in 70 countries, with at least a quarter of the world's gold supply coming from these sources [79,80]. Artisan gold mining is one of the most significant sources of mercury release into the environment in the

developing world and is one of the most critical international environmental issues related to mercury emissions.

A major industrial use of mercury is the chlor-alkali industry. The chlor-alkali process uses mercury cell technology for electrolysis of sodium chloride solution to produce chlorine and caustic soda (sodium hydroxide). The cathode in the electrolytic cell is a thin layer of mercury. The saturated sodium chloride solution floats on top of the cathode. Chlorine is produced at the anode, and sodium is produced at the cathode, where it forms an amalgam with the mercury. The amalgam is continuously drawn out of the cell and reacted with water, which decomposes the amalgam into sodium hydroxide and mercury. The mercury is recycled back into the electrolytic cell. Mercury cells are becoming less common in the chlor-alkali industry as other more cost-effective and less toxic methods are becoming available. Currently, the use of mercury cells in the chlor-alkali industry results in the release of an estimated 28.4 tonnes per year of mercury to the atmosphere (1% of total current anthropogenic emissions) and 2.8 tonnes per year to aquatic systems [86].

The emissions of mercury from waste disposal, processing, and recycling are related directly to the consumption of consumer goods. Although many products and processes that make use of mercury have been phased out due to toxicity, mercury is still used in a wide variety of products. These include batteries, electrical switches, fluorescent lamps, electronic devices, paints, pesticides and fumigants, medicines, cosmetics, and a wide range of measuring and control devices. After these products have outlived their usefulness, they are either deposited in landfills, incinerated, or recycled. While mercury in landfills may be slowly released into soil and water, incinerated waste can be a major source of mercury emissions to the atmosphere if insufficient emission controls are present. Worldwide emissions of mercury from consumer product waste disposal and processing is estimated at 95.6 tonnes per year to the atmosphere (5% of the total current anthropogenic emissions) and 89.4 tonnes per year to aquatic systems.



A minor intentional emission source of mercury is from its use in dental amalgams. An estimated 3.6 tonnes per year of mercury, less than 1% of the total current anthropogenic emissions, are emitted to the atmosphere from dental fillings when bodies are cremated. Also, mercury can be released during production of the amalgam and preparation of fillings, and from disposal of removed fillings. Approximately 340 tonnes of mercury are used in dentistry per year, of which about 20%–30% is disposed of as solid waste. Dental use of mercury is declining, particularly in higher income countries, but the rate of decline varies widely. Use of dental amalgams is still significant in some countries, while in others the practice has all but ceased. In many lower income countries, increasing access to dental care may actually increase mercury use temporarily.

The regional distribution of current anthropogenic mercury emissions to the atmosphere is presented in Table 2 [86]. The largest amount of current anthropogenic atmospheric mercury emissions is from Asia, with a total of 931 tonnes per year, representing 47.6% of total global mercury emissions. Approximately 75% of Asian emissions come from the People's Republic of China. The primary source of mercury emissions throughout Asia is coal combustion. China is the largest coal producer and consumer in the world, using coal in coal-fired power plants, industrial boilers, and residential heating [79]. Approximately 47% of mercury emissions from the People's Republic of China and 81% of emissions from India are due to combustion of coal. The People's Republic of China also has an additional large component from artisan gold mining. In Europe, approximately 52% of total mercury emissions to the atmosphere are from combustion of coal followed by consumer disposal and incineration of waste. Coal combustion and incineration of waste also account for most of the mercury emissions in the USA and North America. Mercury emissions from South America and Sub-Saharan Africa are largely due to artisan gold mining.

Table 2 - Distribution of current anthropogenic mercury emissions to the atmosphere by region

Region	Emissions (tonnes per year)	Range (tonnes per year)	% of total
Australia, New Zealand, Oceania	22.3	5.4–52.7	1.1
Central America, Caribbean	47.2	19.7–97.4	2.4
East/Southeast Asia	777	395–1,960	39.7
European Union	87.5	44.5–226	4.5
Middle Eastern States	37.0	16.1–106	1.9
North Africa	13.6	4.8–41.2	0.7
North America	60.7	34.3–139	3.1
Russian Commonwealth	115	42.6–289	5.9
South America	245	128–465	12.5
South Asia	154	78.2–358	7.9
Sub-Saharan Africa	316	168–514	16.1
Undefined	82.5	70.0–95.0	4.2
Total	1,960	1,010–4,070	100

A comparison of recent estimates with those reported from 1990 to 2005 shows that Europe and North America are reducing their mercury emissions. The USA has reduced emissions from coal-fired power plants by approximately 50% from 2005 to 2010. This relatively large reduction is primarily due to new regulations requiring both mercury and particulate controls on large power plants. However, emissions from Asia are increasing due to increased demands for energy. In addition, emissions from artisan gold mining have doubled since 2005, driven in part by increases in gold prices as well as increases in rural poverty in South America and Sub-Saharan Africa.

### **Atmospheric transport and transformations**

Atmospheric mercury is classified operationally into three categories, ie, gas phase elemental mercury, gas phase mercury(II) compounds called reactive gaseous mercury, and mercury(II) compounds associated with atmospheric particulate matter known as total particulate mercury. Most of the mercury emitted or re-emitted into the atmosphere is gas phase elemental mercury (see Table 3) with minor amounts of gas phase mercury(II) compounds and particulate bound mercury(II). Elemental mercury is not significantly removed from the atmosphere by wet and dry deposition due to its relatively low deposition velocity and water

solubility. It therefore remains in the atmosphere long enough to travel far from the source. However, oxidized mercury(II) compounds are removed more readily because of their higher water solubility and high reactivity with surfaces. It is thus estimated that over 95% of mercury in the atmosphere exists as elemental mercury. This atmospheric elemental mercury must first be oxidized to mercury(II) before being effectively removed from the atmosphere and deposited to soil, water, or vegetation surfaces.

Table 3 - Speciation of mercury emissions from different sources given as percent of total emissions

Name	Molecular formula	Structure weight	Molecular solubility	Water constant	Henry's law
Mercury	Hg	—	200.59	61 µg/L	$8.7 \times 10^{-3}$
Mercury(I) chloride	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Cl-Hg-Hg-Cl	472.09	4.0 mg/L	—
Mercury(I) bromide	Hg <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	Br-Hg-Hg-Br	560.99	22 µg/L	—
Mercury(I) iodide	Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	I-Hg-Hg-I	654.99	0.24 µg/L	—
Mercury(I) oxylate	Hg <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	[2Hg] <sup>2+</sup> [O <sub>2</sub> -C-C-O <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	489.20	3.5 mg/L	—
Mercury(II) chloride	HgCl <sub>2</sub>	Cl-Hg-Cl	271.52	73 g/L	$7.1 \times 10^{-10}$
Mercury(II) bromide	HgBr <sub>2</sub>	Br-Hg-Br	360.40	6.1 g/L	—
Mercury(II) iodide	HgI <sub>2</sub>	I-Hg-I	454.40	0.14 µg/L	—
Mercury(II) oxalate	HgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	[Hg] <sup>2+</sup> [O <sub>2</sub> -C-C-O <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	288.61	0.4 g/L	$1.4 \times 10^{-9}$
Mercury(II) oxide	HgO	Hg-O	216.59	53 mg/L	$7.1 \times 10^{-7}$
Methylmercury chloride	CH <sub>3</sub> HgCl	CH <sub>3</sub> -Hg-Cl	251.10	0.1 g/L	$4.7 \times 10^{-7}$
Dimethylmercury	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> Hg	CH <sub>3</sub> -Hg-CH <sub>3</sub>	230.66	1 g/L	$7.6 \times 10^{-3}$

The atmospheric oxidation of elemental mercury to mercury(II) is very important in the cycling of mercury from the atmosphere to other environmental compartments. It is also critical to estimation of the atmospheric lifetimes as well as atmospheric transport distances of mercury. The oxidation of elemental mercury to mercury(II) increases mercury deposition rates, while reduction of mercury(II) to elemental mercury increases its atmospheric lifetime. Therefore, understanding the oxidation-reduction chemistry of atmospheric mercury is critical in the understanding of mercury cycling through the environment. This chemistry, however, is still not well understood due to its complexity, as the oxidation of atmospheric elemental mercury can involve gas phase, aqueous phase, particulate phase, and heterogeneous reactions. Although there have recently been several reviews on the oxidation chemistry of mercury, most studies have concentrated on reaction kinetics, with few details on reaction mechanisms or product identification.

The gas and aqueous phase reactions of mercury currently believed to be the most important in atmospheric removal processes have been summarized by several reviewers and are listed in Table 4, with their estimated rate constants and atmospheric mercury lifetimes calculated from the chemical kinetics for each reaction. It is important to note that the calculated lifetimes in Table 4 are chemical lifetimes based on the relative oxidation potentials of the various reaction pathways as determined in the laboratory and do not represent the actual lifetime of mercury in the atmosphere. Since atmospheric mercury is not irreversibly oxidized but undergoes an oxidation-reduction cycle, the actual lifetime of mercury in the atmosphere would be determined from the rates of competing oxidation and reduction reactions along with those of the physical removal processes.

Table 4 - Important reactions of mercury relevant to the atmosphere with overall rate constants and atmospheric mercury lifetimes estimated from reaction kinetics

Gas phase reactions	Rate constants ( $\text{cm}^3 \text{ molec}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ )	Lifetimes
1. $\text{Hg}^0 + \text{O}_3 \rightarrow \text{HgO} + \text{O}_2$	$3 \times 10^{-20}$	1.4 years
2. $\text{Hg}^0 + \text{OH} \rightarrow \text{HgOH}$	$6 \times 10^{-19}$	25 days
$\text{HgOH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HgO} + \text{OH}$	$9 \times 10^{-14}$	8 months
3. $\text{Hg}^0 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Hg}^{2+}$	$< 8 \times 10^{-19}$	$> 1.5$ years
4. $\text{Hg}^0 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{HgCl}_2$	$2 \times 10^{-18}$	50 years
5. $\text{Hg}^0 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{HgBr}_2$	$< 9 \times 10^{-17}$	$> 5$ days
6. $\text{Hg}^0 + \text{Cl} \rightarrow \text{HgCl}$	$1 \times 10^{-11}$	3–4 months
7. $\text{Hg}^0 + \text{Br} \rightarrow \text{HgBr}$	$3 \times 10^{-12}$	9 hours
$\text{HgBr} \rightarrow \text{Hg} + \text{Br}$	$8 \times 10^{-3}$	
$\text{HgBr} + \text{Br} \rightarrow \text{HgBr}_2$	$2 \times 10^{-10}$	
$\text{HgBr} + \text{OH} \rightarrow \text{HgBr(OH)}$	$2 \times 10^{-1}$	
8. $\text{Hg}^0 + \text{BrO} \rightarrow \text{HgBrO}$	$1 \times 10^{-14}$	12 hours

The gas phase reactions are dominated by oxidation of elemental mercury to mercury(II) while both oxidation and reduction can occur in the aqueous phase. Originally, the major oxidation pathways for elemental mercury were thought to be

the gas phase and aqueous phase reactions with ozone (Table 4, reactions 1 and 8). Early kinetic studies of the ozone mercury reaction resulted in a rate constant of  $3 \times 10^{-20} \text{ cm}^3 \text{ molec}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ , which gave an estimated atmospheric lifetime for mercury of approximately 1.4 years [76]. Atmospheric models using this early value for the rate coefficient were able to reproduce the observed atmospheric mercury concentrations. However, more recent studies have resulted in rate constants closer to  $6 \times 10^{-19} \text{ cm}^3 \text{ molec}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ , suggesting a lifetime of 20–30 days.