

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

На правах рукописи

ТУРСУНАЛИЕВА ЕЛЕНА МУРАТОВНА

**ЭКОГЕОХИМИЯ РТУТИ В ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЯХ РОДА
ТОПОЛЬ (ЛИСТЬЯХ И ГОДОВЫХ КОЛЬЦАХ) УРБАНИЗИРОВАННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Специальность 1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
доцент Барановская Н.В.

Томск – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Биогеохимическая индикация состояния окружающей среды с использованием древесных растений	13
2. Объекты и методы исследования	32
2.1 Обоснование выбора объекта исследования	32
2.2 Отбор проб и пробоподготовка	35
2.3 Методы лабораторных исследований	42
2.3.1 Атомно-абсорбционный анализ.....	42
3. Экогеохимические последствия ртутного загрязнения территорий Сибири и Дальнего Востока	49
4. Характер накопления ртути в листьях древесных растений рода тополь.....	57
4.1 Распределение ртути по высоте кроны тополя	58
4.2 Видовая специфика концентрирования ртути в сухой массе листьев деревьев рода тополь	60
4.3 Влияние вегетационного периода на содержание ртути в листьях деревьев рода тополь	62
5. Эколого-геохимическая оценка ртутной нагрузки на урбанизированные территории Сибири и Дальнего Востока по результатам изучения листьев тополя	69
6. Влияние техногенеза на накопление ртути в древесных растениях рода тополь	76
6.1 Распределения ртути в сухой массе листьев рода тополь в зоне влияния химического производства (г.Усолъе-Сибирское)	81
6.2 Распределения ртути в сухой массе листьев рода тополь вблизи горнорудного производства (с.Акташ)	84
6.3 Распределения ртути в древесных растениях рода тополь вблизи литиевого производства (г. Новосибирск).....	86
7. Ретроспективный анализ накопления ртути в кольцах деревьев от различного типа источников	91

7.1 Динамика изменения концентраций ртути в годичных кольцах деревьев рода тополь в зоне влияния антропогенного источника.....	91
7.2 Пространственно-временные закономерности распределения ртути в годичных кольцах тополя в сейсмоактивной зоне	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ	98
Список литературы	100

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Ртуть обладает особыми эколого-геохимическими свойствами: миграционной подвижностью, высокой токсичностью, способностью накапливаться в трофических цепочках водных и континентальных биоценозов, а также считается одним из наиболее опасных глобальных загрязнителей окружающей среды, оказывающих негативное воздействие на любые живые организмы (Гладышев, 1974; Саэт, 1990; Иванов, 1997; Буренков, 2000; Антипов, 2002; Добровольский, 2003; Ляпина, 2012; Fitzgerald, 2014; Grandjean, 2017).

Токсичный элемент применялся человеком для своих нужд еще с древних времен, но началом антропогенных загрязнений ртутью, по результатам анализа состава донных отложений озера Уиндермир (Англия), считают XVI век н.э. (Bowen, 1979).

Ртуть является своеобразным показателем антропогенной нагрузки на территории, в связи с ее поступлением в окружающую среду с промышленными выбросами в атмосферу, сбросами в водную среду, работой транспорта, отходами предприятий, цветной металлургии, химпроизводства, теплоэнергетики, машиностроения, производства минеральных удобрений. (Сауков, 1946; Янин, 1992; Таусон, 1995; Маликова, 2003; Ляпина, 2012; Гордеева, 2012; Осипова 2015; Барановская, 2015; Юсупов, 2018, Таций, 2020 и др.). На данный момент, большая часть ртути используется в химической промышленности и в производстве люминесцентных ламп, ртутных термометров. Следует отметить, что ртуть поступающая в атмосферу от предприятий, использующих ее в технологических процессах (целевое), составляет 13% от общего объема поступления в атмосферу (хлорно-щелочное производство, производство винилхлоридмономера (ВХМ), добыча золота (амальгация), производство термометров, источников освещения и тд.). Большая часть (77%) поступления ртути в воздух приходится на источники, где элемент является нежелательной примесью в составе перерабатываемого сырья (электроэнергетика (уголь), нефтепереработка и использование нефтепродуктов,

производство цинка, свинца никеля, меди и других металлов, производство цемента и извести). Остальная часть (10%), связана с утилизацией отходов (сжигание отходов, размещение на полигонах, осадок сточных вод) (Lassen, 2005).

Токсичный элемент может иметь и природные источники поступления. Анализ литературных данных (Коваль, 2005; Гребенщикова, 2019) указывает на повышение концентраций ртути в воде оз. Байкал в периоды стихийных бедствий, таких как: землетрясения, ураганы, наводнения, штормы и тд. В периоды отсутствия катаклизмов отмечается низкое содержание ртути в экосистеме озера ($\leq 0,0005$ мкг/л), но в периоды землетрясений концентрация увеличивается в 3-5 раз.

В Российской Федерации крупномасштабных федеральных проектов направленных на инвентаризацию источников ртутного загрязнения окружающей среды, не выполнялось, хотя токсичный элемент нормативно определен в разных компонентах окружающей среды как вещество 1 класса опасности (по ГОСТ 17.4.1.02-83), что влечет за собой необходимость осуществлять экологический мониторинг и изучение интенсивности ртутного загрязнения урбанизированных территорий. Особое внимание уделяется методам экологической оценки компонентов окружающей среды в крупных промышленных центрах. Одним из таких методов является биогеохимическая индикация, основанная на исследованиях загрязнения воздуха, почвы и растительного покрова урбанизированных территорий химическими элементами и их соединениями с использованием различных биологических объектов, в том числе растений (Сабинин, 1955; Москаленко, 1991; Игнатъева, 2005; Маликова, 2008; Ляпина, 2009; Кашин, 2009; Азовский, 2010; Рогова, 2011; Гусев, 2012; Гордеева, 2012; Страховенко, 2012; Густайтис, 2016; Межибор, 2017; Рапуга, 2017; Юсупов, 2018, Ермаков, 2018; Сысо, 2018; Якубович, 2018; Робертус, 2018; Пахорукова, 2019; Барановская, 2020; Рихванов, 2020 и др.). Широкое использование методов биогеохимического районирования избытка или недостатка химических элементов в окружающей среде на территории России

получили благодаря работам В.И. Вернадского и его последователей (Виноградов, 1952; Вернадский, 1959,1983,1994). Полученные с применением растений концентраторов химических элементов результаты, говорят о высокой эффективности применения биогеохимического метода в изучении геоэкологических проблем (Голубев, 2019). Проведенные нами исследования накопления ртути в листьях и ядрах тополя позволяют оценить содержание поллютанта в приземном атмосферном воздухе в течение сезона и выявить источники загрязнения.

Объектами исследований служат листья и годовые кольца деревьев рода тополь, отобранные на урбанизированных территориях Сибири и некоторых отдельных городов Дальнего Востока, **предметом** исследования является изучение концентрации и динамики поступления ртути в указанных объектах.

Цель работы – установление ориентировочных значений среднего содержания ртути в деревьях рода тополь на современных урбанизированных территориях и выявление их индикаторных особенностей.

Основные задачи работы:

1. Определение характера распределения ртути в сухой массе листьев древесных растений рода тополь в зависимости от ряда факторов: высоты отбора пробы, ориентации дерева относительно источника загрязнения, вида дерева и сезона;
2. Проведение эколого-геохимической оценки ртутной нагрузки на урбанизированные территории Сибири и Дальнего Востока по результатам анализа сухой массы листьев деревьев рода тополь и изучение влияния техногенеза на концентрацию ртути;
3. Установление динамики поступления ртути в годовые кольца деревьев рода тополь от природного и антропогенного источников.

Фактический материал и методы исследования.

В основу работы входят результаты, обобщенные автором по пробам, отобранным сотрудниками отделения геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета в период с 2014

по 2019 г., в том числе при личном участии автора в период с 2015 по 2020гг. Основу составляют данные, полученные лично автором по изучению содержания ртути в древесных растениях, а именно, в более 1200 пробах листьев тополя и 15 ядрах (720 годичных колец) на урбанизированных территориях Сибири и отдельных территориях Дальнего Востока. Пробы листьев отбирались по равномерной сети, охватывающей большую часть исследуемой территории города или вдоль трасс между городами. Отобраны дополнительные пробы для изучения: видовой специфики концентрирования ртути, влияния вегетационного периода, распределения ртути по кроне дерева.

Для исследования динамики накопления ртути от природных и техногенных источников в древесных растениях, был отобран ядро тополя в период 2017–2018 гг.:

- на территории Тункинской котловины в 11 точках, расположенных вблизи населенных пунктов (514 проб годичных колец);

- на территории г. Новосибирск в 4 точках, расположенных на разном удалении от источника ртутного загрязнения (206 проб годичных колец) с параллельным отбором проб почв.

Общее количество проанализированных проб, включая листья, годичные кольца и почву, составило -2006 шт.

Пробоподготовка листьев включала в себя: высушивание при комнатной температуре и ручное измельчение. Ядра после просушки были зачищены, отшлифованы, маркированы и разделены на отдельные годичные кольца. Маркировка колец проводилась при помощи прибора LINTAB (514 проб годичных колец) лаборатории дендрэкологии Института мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН (г. Томск). Все пробы были проанализированы при помощи ртутного анализатора «РА-915+» с приставкой «ПИРО-915+» методом атомной абсорбции в лаборатории микроэлементного анализа в составе Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» при отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов (ИШПР) Национального

исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ). Были определены формы ртути в 23 пробах отобранные в г.Новосибирск, так-как именно формы нахождения ртути определяют степень токсичности элемента и негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения. Анализ проведен на ртутном анализатора «РА-915+» с приставкой «ПИРО-915+» методом термодесорбции на разных температурных режимах.

Достоверность защищаемых положений

Для достоверности результатов была применена отработанная методика отбора проб (Зырин, 1981), проведена обработка полученного материала статистическими методами анализа и изучена литература по тематике исследования. Также, проводился внешний и внутренний лабораторный контроль. Внешний контроль заключался в проведении дополнительного анализа в количестве 3% от общего объема проб в сторонней организации (Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева (ИГМ СО РАН)). Внутрिलाбораторный контроль проводился как повторный анализ проб с зашифрованными номерами в количестве 15 % от общего объема ранее проанализированных проб.

Научная новизна.

1. Проведен ряд опытно-методических исследований направленных на изучение влияния различных факторов (высота кроны, ориентация относительно источника загрязнения, вегетационный период, видовая принадлежность) на изменения концентрирования токсичного элемента в листьях деревьев рода тополь;

2. Проведена оценка ртутной нагрузки и установлен средний уровень содержания ртути в листьях тополя для урбанизированных территорий Сибири и городов Дальнего Востока. Выявлены территории с повышенным валовыми концентрациями ртути и определены возможные источники загрязнения. Получены данные, отражающие современное состояние загрязнения компонентов окружающей среды;

3. Установлена динамика накопления ртути на сейсмически активной территории Тункинской котловины. Прослежена связь между датами крупных и мелких землетрясений и валовым содержанием ртути в годовых кольцах деревьев рода тополь.

Практическая значимость работы.

1. Данные могут быть использованы при дальнейшей оценке современного экологического состояния урбанизированных территорий и эмиссии ртути в атмосферу;

2. Результаты исследований могут представлять интерес для организаций экологического контроля;

3. Материалы диссертации могут быть использованы в учебных курсах «Геоэкология», «Геохимия живого вещества», «Компьютерные технологии и статистические методы в экологии и природопользовании» при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Экология и природопользование» в отделении геологии ИШПР ТПУ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Среднее содержание ртути в листьях тополя на урбанизированных территориях Сибири составляет $25 \pm 2,9$ нг/г. На концентрирование элемента влияет сезонный фактор (от 601 нг/г до 2425 нг/г) с максимальным концентрированием в опаде в виде свободной формы, высота кроны дерева (от 776 нг/г до 1697 нг/г), ориентация относительно источника техногенной эмиссии ртути и не оказывает существенного влияния видовой принадлежности.

2. На территории Сибири и Дальнего Востока повышенные и высокие концентрации ртути в листьях тополя приурочены к зонам ее добычи и переработки и представляют колебания среднего содержания от 41 до 246 нг/г, что превышает среднее значение по всей выборке в 2-10 раз.

3. Дендрогеохимические данные по содержанию ртути в годовых кольцах тополя применимы как для анализа пространственно-временных закономерностей ее распределения на территориях нахождения источников техногенного загрязнения окружающей среды (на примере АО «НЗХК»), так и для оценки

уровня природной эмиссии ртути в приземную атмосферу при крупных и средних землетрясениях (на примере Тункинской котловины).

Апробация результатов.

Основные результаты исследований по теме диссертации были рассмотрены на XXI, XXII, XXIII, XXIV Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск 2017, 2018, 2019, 2020); 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» (Череповец, 2018); XXII, XXIII Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск 2017, 2018); Всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии – 2018» (Иркутск, 2018); Международной научно-практической конференции, посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования» (Иркутск, 2019); XXV, XXVI конференции «Аэрозоли Сибири» (Томск, 2018, 2019); Всероссийской конференции XIII Сибирского совещания и школы молодых ученых по климато-экологическому мониторингу (Томск, 2019), Научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы гигиены, токсикологии и медицины труда», посвященной 90-летию образования ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (Новосибирск, 2020).

Публикации

Опубликовано 24 работы по материалам диссертации: 2 статьи в журнале, входящем в перечень ВАК, 2 статьи в журналах, входящих в базу Scopus, 2 публикации в материалах конференций на английском языке входящих в базу Scopus.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы. Результаты изложены на 140 страницах и содержат 42 рисунков и 10 таблиц.

Список литературы включает в себя 345 наименований, 80 из которых на иностранном языке.

Личный вклад диссертанта заключается в отборе проб листьев в городах Зима, Саянск, Усолье-Сибирское и участии в отборе проб листьев, почвы и зерна в г. Новосибирск, а так же в обобщении материалов и подготовке и проведении анализа на содержание ртути проб, отобранных сотрудниками отделения геологии ТПУ по городам Сибири и Дальнего Востока. Автором самостоятельно проведена пробоподготовка листьев и годичных колец тополя, исследования на ртутном анализаторе, статистическая обработка результатов, построение графиков и карт ореолов распространения ртути на урбанизированных территориях, формулировка защищаемых положений.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность и признательность научному консультанту, безвременно ушедшему профессору отделения геологии Томского Политехнического университета, д.г.-м.н. Рихванову Л.П. за ценные советы, поддержку, помощь на всех этапах диссертации, индивидуальный подход и прививание интереса к научной работе. Признательность и благодарность автор выражает, научному руководителю профессору отделения геологии Томского Политехнического университета, д.б.н. Барановской Н.В. за отзывчивость, терпение, ценные советы и помощь в написании работы. Так же, к.г.-м.н Юсупова Д.В., автор благодарит за ценные советы, участие на различных этапах работы диссертации, поддержку, отзывчивость, предоставление проб листьев тополя и к.г.-м.н. Ляпиной Е.Е. за помощь в освоении работы на ртутном анализаторе, консультацию, поддержку и предоставление отобранных проб зерна тополя с территории Тункинской котловины. За помощь и ценные советы автор приносит благодарность к.г.-м.н. Робертусу Ю.В., д. ф.-м. н. Рапуге В.Ф. Автор благодарен за советы и поддержку к.х.н., Осиповой Н.А., а также всем сотрудников отделения геологии Томского Политехнического университета за рекомендации направленные на написание и доработку диссертации. За помощь в пробоотборе древесного зерна и

пробоподготовке, автор приносит благодарность студентам отделения геологии Томского Политехнического университета, Павловой А.А., Матвиенко Я.С..

Всем сотрудникам и студентам отделения геологии, автор благодарен за предоставление проб листьев тополя отобранных на урбанизированных территориях Сибири и Дальнего Востока.

1. Биогеохимическая индикация состояния окружающей среды с использованием древесных растений

В современном мире, одной из главных экологических задач является мониторинг изменения состояния окружающей среды вызванное различными техногенными факторами. Для достижения поставленной задачи все чаще используется и применяется достаточно информативный и недорогой способ мониторинга - биоиндикация, т.е. использование живых организмов для оценки состояния окружающей среды. Биологическими индикаторами обычно называют растения, которые обнаруживают симптомы поражения при действии на них фитотоксичных доз поллютантов (Викторов , 1994; Bargagli, 1998;. Мелехова, 2007; 2008).

Биоиндикация начала свое развитие одновременно с биологией. Еще в античные времена встречается упоминание о возможности определения свойств почвы и степени ее увлажненности при помощи оценки состояния растительного покрова. Античные философы, писатели, агрономы отмечали возможность использования состояния растительного покрова в практических целях. Марк Порций Катон Старший (234-149 гг. до н. э.) в своем знаменитом трактате «Земледелие» писал о выборе участка для посева бобовых культур и помощи густоты травостоя до перепашки (Опекунова, 2016).

Биогеохимия дает информацию о миграции и концентрации химических элементов в живом веществе (Алексеенко, 2013).

Первые биогеохимические исследования, направленные на изучение химического состава растений и животных, были сделаны В.И. Вернадским в 1918 г. Им же, в 1926г, был создан биогеохимический отдел для выделения биогеохимических исследований в самостоятельное направление. По инициативе В.И. Вернадского, в 1927 г., Физико-математическое отделение Академии наук приняло решение об организации самостоятельной Биогеохимической лаборатории. 1 октября 1928 г. Отдел живого вещества КЕПС был преобразован в Биогеохимическую лабораторию (БИОГЕЛ). На данный момент, основными направлениями лаборатории являются: биогеохимия химических элементов,

наземных экосистем; геохимическая экология организмов; генезис, формирование и эволюция природно-техногенных биогеохимических провинций. (Официальный сайт ГЕОХИ РАН...)

Предшественниками биогеохимических исследований можно считать таких исследователей как: А. Лавуазье, Дж. Кювье, Е. Зюсса, Ю. Либиха и Ч. Дарвина (Ермаков, 2013).

Использование геохимических методов изучения изменений в различных объектах, в том числе растений, отражаются в работах многих авторов, начиная со школы геохимии живого вещества (БИОГЕЛ) Вернадский В.И., Ковальский В.В., Ермаков В.В., Петрунина Н.С.

В наши дни работы по изучению геохимических особенностей природных объектов продолжает активно развиваться: Батоян В.В., Безуглова О.С., Москаленко Т.Н., Башкин В.Н., Градова Н.Б., Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Языков Е.Г., Ляпина Е.Е., Таловская А.В., Жорняк Л.В., Иванов А.Ю., Осипова Н.А., Ялалтдинова А.Р., Леонова Г.А., Страховенко В.Д., Алексеева С.А., Уфимцева М.Д., Абдурахманов Г.М., Летунова С.В., Второва В.Н., Панин М.С., Риш М.А., Саэт Ю.Е, Шарыгин С.А., Коваль А.Т., Фурсов В.З., Гребенщикова В.И., Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Алексеенко В.А., Дженбаев Б.М., Ткалич С.М., Глазовская М.А., Перельман А. И., Зейферт Д.В., Артамонова В.Г., Котов В.С., Бондарев Л.Г., Беус А.А. и др.

Огромное количество работ по изучению геохимических методов встречается и в зарубежных исследованиях: Wolswijka G., Reimann C., Kabata-Pendias A, Bargagli R, Assad M., Clackett S.P., Bowen N. J. M., Underwood E.J., Al-Khashman, O. A., Asgari, K., Bi, C., Bi, X. Y., Cataldo D. A., Chrzan A., Dadea C., Jiang Y., Norouzi S., Pavlović M., Rajfu M., Sawidis T., Song Y., Szwalec, A., Navrátil T., Vacci E., Ericksen J. A., Esteban E., Fantozzi F., Fleck J. A., Gustin Ericksen J. A., Higuera P., Millhollen A.G., Molina J. A., Rea A. W. и многие другие.

В начале 1970-х гг., в Великобритании был выполнен проект по проведению геохимической съемки донных отложений водотоков всей страны. Проект позволил составить геохимические карты Англии, Северной Ирландии, Уэльса,

Шотландии (Provisional geochemical atlas of Northern Ireland..., 1973; Webb, 1978; Plant, 1979; Thornton, 1980) и показал эффективность картирования для изучения состояния окружающей среды. Результаты показали зависимость между болезнями населения исследуемых территорий и распределением химических элементов (Thornton; 1977). В работах D. Purves (1977), рассматриваются локальные загрязнения окружающей среды с геохимической точки зрения.

Если не рассматривать растения в методах поисков полезных ископаемых (Виноградов, 1954; Григорьев, 1962; Сауков, 1963; Малюга, 1963; Ткалич, 1970; Ковалевский, 1983; Ивашов, 1991; Алексеенко, 2005; Юсупов, 2009), их широкое применение в биогеохимии получило после 60-х годов прошлого века, когда пара шведских ученых, Рухлинг и Тайлер (Rühling, 1968), одними из первых использовали мхи как показатель загрязненности тяжелыми металлами. В это же время появились первые упоминания об использовании листьев высших растений в качестве биомонитора на территории городов.

В 90-х, Боуэном, был создан один из первых эталонных образцов биологического материала с целью контроля аналитических исследований (Bowen, 1979). Первая книга о распределении химических элементов в почве и растениях была опубликована в 1984 году (Kabata-Pendias, 2011), где были представлены данные о пределах концентраций элементов в растениях. Кроме перечисленных исследований листьев, к наиболее ранним можно отнести исследование о листьях вяза 1972 г. и дуба 1973 г. (Little, 1974) а также исследование 3 видов растений, отобранных в индустриально-урбанизированном и загородном районах (Kovács, 1981).

В связи с тем, что атмосферный воздух является главным источником питания для растений, так как они дышат всей поверхностью листовой пластины проходит интенсивный газообмен, что приводит к их чувствительности к загрязнению воздуха. Аэрозольные частицы могут закупоривать устьица, увеличивая таким образом уязвимость некоторых растений к действию загрязнителей вследствие подавления фотосинтеза и транспирации. Поллютанты, проникают через устьица в межклеточные пространства в соответствии с

количеством устьиц и их размером. Открывание устьиц регулируется многими факторами, такими как температура, влажность, освещение, внутренние концентрации CO₂ и гидротации замыкающих клеток (Bargagli, 1995).

Загрязняющие вещества, проникающие через устьица, могут растворяться в воде и перемещаться по межклеточному пространству, где могут быть частично связаны (Bargagli, 1995).

Выбор подходящих объектов исследования должен быть основан на знании их географического распространения, генетической однородности и специфичной чувствительности к конкретному загрязнителю (Bargagli, 1998; Markert A, 2003).

М.Д. Уфимцева (2008), в своих исследованиях указывала на влияние не только загрязненной почвы и воздуха, но и всех геохимических сред. В трудах R. Bargagli (1998), Л.В. Копыловой (2011), Л.В. Ветчинниковой (2013) упоминается зависимость реакции растений от различных факторов, таких как: продолжительность воздействия, чувствительность, вид поллютанта, концентрация, физиологические особенности растения, сезон отбора.

Существует ряд уменьшения содержания металлов в тканях растений: корни>стебли>листья>плоды>семена. Но стоит учитывать, что при атмосферном загрязнении, листья поглощают большую часть металлов в виде частиц и газов, в том числе и ртуть (Bargagli, 1998).

В. Б. Ильин (2001), писал об акропетальном характере распространения химических элементов в растениях, несмотря на отсутствие загрязнений в почве.

Кроме перечисленных факторов, на концентрацию химических элементов в растениях влияет и возможность вымывания атмосферными осадками. Н. А. Максимов (1948), в исследованиях показывает возможность вымывания из листьев в течении одного ливня, до 30-40% зольных элементов и до 60-80% наиболее подвижных. Эти вымытые элементы могут восстанавливаться за счет поступления их из корневой системы от двух до четырех дней (Ткалич, 1959).

Одним из самых изучаемых элементов, является ртуть. Её присутствие в окружающей среде в настоящее время привлекают все больше внимания по причине потенциальной угрозы, которую элемент представляет для экосистем и

здоровья человека. Данный металл широко распространен в окружающей среде и в силу своей летучести паров, переносится на большие расстояния (Lindqvist, 1991) загрязняя почву, растения, воду. В атмосфере элемент присутствует, в основном, в виде пара, что способствует его распространению и поглощению растениями и животными (Bargagli, 1998). При попадании в водную экосистему, ртуть превращается в метилртуть - самое распространенное и токсичное соединение ртути. Сам элемент и его соединения, весьма опасны для человека и при попадании в организм поражают мозговые функции, что приводит к нарушению речи, памяти, внимания, двигательных навыков и зрительного восприятия. (Ртутное загрязнение в России..., Ртуть: экологические аспекты применения, 1992). Также, токсичный элемент негативно воздействует на почки, печень, легкие, пищеварительную, иммунную системы (Сауков, 1946; Дмитриев, 2007).

Концентрации токсичного элемента в атмосферном воздухе колеблется в зависимости от изменений климатических, сезонных и погодных условий (Stock, 1926). В солнечные дни содержание паров ртути в атмосферном воздухе на урбанизированных территориях может увеличиваться в 100 раз. Изучив глобальный ртутный цикл, ученые МГУ им. М.В. Ломоносова провели исследования по определению концентраций ртути в атмосферном воздухе в разное время суток и при изменении метеоусловий. В солнечные дни отмечается повышенный содержания ртути в приземном слое г. Москва до 300 нг/м^3 . Утром содержания растут в связи с эмиссией ртути из почвы и поверхности зданий под воздействием солнечной радиации. Во время неблагоприятных метеорологических условиях (дожди), концентрация ртути в горной местности (Северный Кавказ) практически были нулевыми, тогда как в солнечные дни они повышались до 11.3 нг/м^3 . На равнинной местности колебания ртути незначительны (Наука и жизнь...).

Одним из самых знаменитых и значительных воздействий токсичного элемента на здоровье людей происходило в Японии, на протяжении 1932-1968 годов, когда завод, производящий уксусную кислоту, сливал жидкие отходы

содержащие высокие концентрации метилртути в залив Минамата. В заливе было много рыбы и моллюсков, которые являлись основными объектами питания для местных жителей и рыбаков из других районов. В течение многих лет никто не осознавал, что рыба содержит следы ртути, что вызывает странную болезнь среди местного сообщества и других районов. По меньшей мере, 50 000 человек пострадали в той или иной степени, и было подтверждено более 2 000 случаев болезни Минамата. Пик болезни Минамата пришелся на 1950-е годы, когда произошли тяжелые случаи заболевания с повреждением мозга, параличом, бессвязной речью и расстройством сознания (Всемирная организация здравоохранения ...).

Ртуть попадает в окружающую среду от тепловых электростанций, аффинажного производства, цементных заводов, автотранспорта, химической промышленности, сжигания твердых бытовых отходов и тд. (Ртутное загрязнение в России...).

С 2013 года, существует межгосударственный договор, направленный на охрану окружающей среды и здоровья населения от загрязнения ртутью. Согласно тексту этого документа, ртуть признается «химическим веществом, вызывающим обеспокоенность в глобальном масштабе вследствие ее переноса в атмосфере на большие расстояния, ее стойкости в окружающей среде после попадания в нее в результате антропогенной деятельности, ее способности к биоаккумуляции в экосистемах, а также вследствие обусловленных ее воздействием значительных негативных последствий для здоровья человека и окружающей среды». В документе изложены меры по контролю за добычей ртути, а также указаны ограничения, накладываемые на производство, где применяется ртуть или ее соединения, мелкомасштабную и кустарную золотодобычу (Минаматская конвенция...).

Стоит отметить, что Российская Федерация подписала Минаматскую конвенцию, но не ратифицировала, хотя существует правовая база, направленная на защиту здоровья населения от ртутного загрязнения. Примером служит действующий с 1983 г. ГОСТ, направленный на охрану здоровья человека на

производстве связанного «с получением ртути из рудного сырья и применением ее в различных отраслях народного хозяйства» (ГОСТ 12.3.031-83). С сентября 2010 года, принято постановление, устанавливающее меры по обращению с отходами производства и потребления, в число которых входят ртутьсодержащие лампы (Электронный фонд правовой-нормативно-технической документации...).

Ртуть относится к первому классу опасности (по ГОСТ 17.4.1.02-83) и величина концентраций паров, способных привести к тяжелым хроническим заболеваниям, колеблется от 0,001 до 0,005 мг/м³. Острое отравление может возникнуть при 0,13 - 0,80 мг/м³. Интоксикация со смертельным исходом развивается при вдыхании 2,5 г паров ртути. Предельно допустимая концентрация паров ртути в атмосферном воздухе составляет 0,0003 мг/м³ (ГН 2.1.6.1338-03). В «Санитарно-эпидемиологических требованиях к жилым зданиям и помещениям» (СанПиН 2.1.2.1002-00) содержится запрет на превышение этого значения. Санитарная зона вокруг ртутных предприятий равна 1 км. Предельно допустимая массовая концентрация ртути в почве — 2,1 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06) с учетом фона (кларка). Предельно допустимая концентрация ртути в воде водоемов 0,0005 мг/л (ГН 2.1.5.1315-03).

Для наиболее токсичного и распространенного в окружающей среде ртутьорганического соединения, метилртути, минимальной токсичной дозой является 3–7 мкг/кг массы тела при условии длительного ежедневного потребления. Содержание общей ртути, в выше указанном случае, будет равна; кровь – 20–50 мкг на 100 мл, волосы– 50–125 мкг/кг. Так-как основным источником поступления ртути в организм человека является потребление рыбы, обнаружено, что населения, потребляющих ее хотя бы раз в неделю, концентрация токсичного элемента в волосах составляет 0,74 мг/кг, тогда как у группы людей редко потребляющих морскую рыбу, концентрация ртути в волосах находится на уровне 0,48 мг/кг (Клиническая токсикология детей и подростков, 1998). Стоит учитывать тот факт что, между получением организмом высоких доз токсичного элемента и проявлением симптомов отравления может

существовать иногда достаточно длительный латентный период (Ефимова, 2005) (рисунок 1.1).

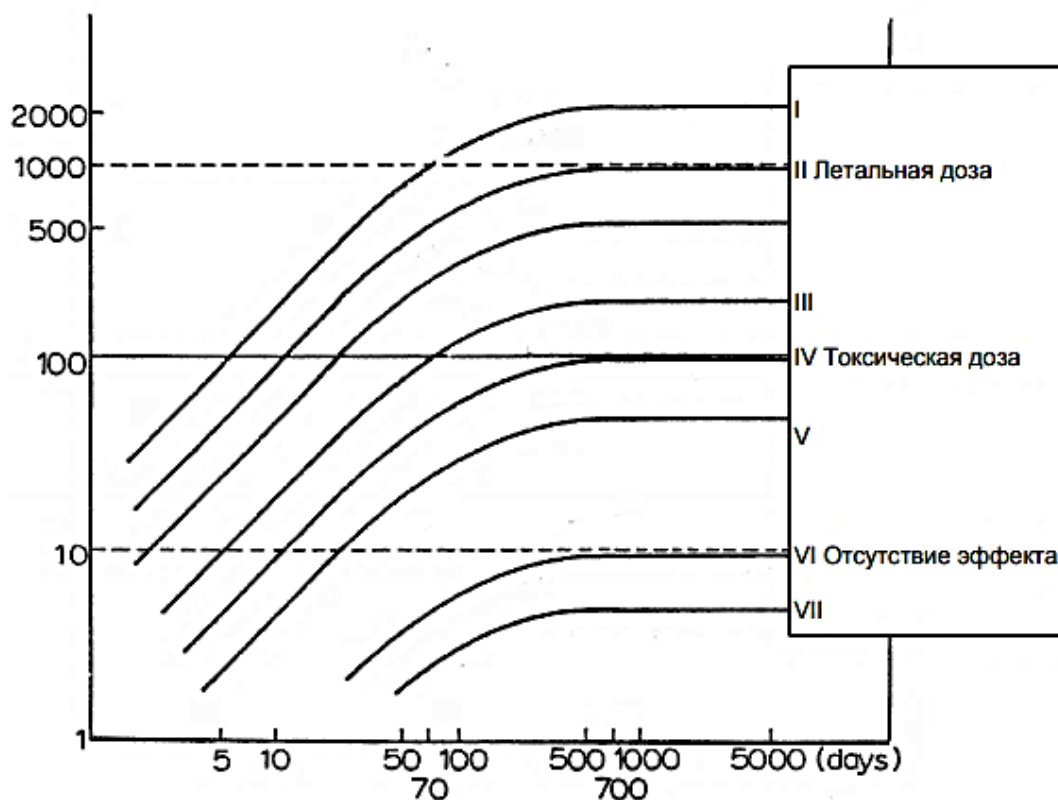


Рисунок 1.1 – Оценка токсического действия метилртути на организм человека (Клиническая токсикология детей и подростков, 1998)

Примечание: I – 20 мг/день (10 мкг/г × 2 кг/день); II – 10 мг/день (10 мкг/г × 1 кг/день); III – 5 мг/день (10 мкг/г × 500 г/день); IV – 2 мг/день (10 мкг/г × 200 г/день); V – 1 мг/день (10 мкг/г × 100 г/день); VI – 0,5 мг/день (10 мкг/г × 50 г/день); VII – 0,1 мг/день (1 мкг/г × 100 г/день); VIII – 0,05 мг/день (1 мкг/г × 50 г/день)

Степень тяжести воздействия ртути на здоровье населения зависит от множества факторов, таких как: доза и тип элемента, длительность и способ воздействия на организм, возраст человека (Всемирная организация здравоохранения...).

Начиная с 70-х годов XX века, в связи с фиксируемыми случаями многочисленного отравления соединениями ртути во многих странах были введены ограничения на использование ртути в промышленности и сельском

хозяйстве. Поэтому с 1973 г. производство токсичного элемента начало снижаться, а с 1990 г. в США добыча ртути прекратилась вовсе. В России в 80-90-х годах произошел резкий спад промышленного производства, вследствие чего добыча и использование ртути начало уменьшаться, что наблюдается и в настоящее время. Потребление ртути в Российской Федерации значительно сократилось с 866 т до 155 т в период 1989-2000 гг. (Максимов, 1993; Фурсов, 2000).

В Российской Федерации, около 50% хлора производилось с использованием метода ртутного электрода (Ртутное загрязнение в России...). На данный момент на территории России существуют 3 действующих предприятия по выпуску каустической соды и хлора с использованием ртутного метода. В Иркутской области с 1968 года работает Зиминский химический завод, на базе которого в 1998 г образован (г. Саянск), «Саянскхимпласт». Предприятие в июне 2006 года остановила ртутный электролиз перейдя на мембранный (Мубараков, 2012). Оставшиеся предприятия: ЗАО «Каустик» (г. Стерлитамак, Республика Башкортостан); ОАО «Каустик» г. Волгоград, Волгоградская область и ОАО «Кирово-Чепецкий химкомбинат» Кирово-Чепецк, Кировская область. В 80-х был закрыт ПО «Капролактамы» в восточной промышленной зоне г. Дзержинск, Нижегородской области и ЗАО «Каустик» г. Стерлитамак Республика Башкортостан. В Иркутской области, в 1998 г был закрыт цех ртутного электролиза на предприятии ОАО «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское), а в 2017 ликвидировано само предприятие (Ртутное загрязнение в России...).

Вследствие высокой токсичности для всего живого (показатель токсичности у ртути самый высокий среди элементов = 21) и широкого спектра ее проявлений особое значение приобретает изучение экобиогеохимии ртути в различных объектах (Таций, 2013, 2017, 2018, 2019, 2020; Моисеенко, 2016; Гашкина, 2020).

Первые измерения содержания элементов в атмосфере были сделаны в 1865-1866 гг. в Северной Атлантике. В доиндустриальную эпоху главным поставщиком ртути в атмосферу, были вулканы. В.З. Фурсов (2000) в своих работах опубликовал данные о 2700 т ртути, попавшей в атмосферу при

извержении Кракатау (Индонезия). Также он проводил исследования по изучению количества ртути, поступающей в атмосферу и постоянную для всех периодов, от кембрия до современной эпохи.

Огромное количество ртути, выброшенное вулканами в атмосферу, поступало на поверхность земли и рассеивалось в земной коре. В меньшем количестве ртуть могла концентрироваться в форме самостоятельных месторождений или служила дополнительным источником при формировании месторождений вулканического типа. В рудных месторождения сконцентрировано около 0,02% от 100 млрд. т которые содержатся в слое коры мощностью 1 км (Шевырев, 2013).

В 1926 г. А. Шток провел большое количество исследований, доказывающих постоянное присутствие ртути в биосфере; в воздухе различных лабораторий, зубных клиник и т.д. При длительном воздействии металл влияет на здоровье человека, вызывая хронические расстройства, разрушающие организм и приводящие к преждевременной смерти. Причиной этих расстройств может быть как ртутные пары от разбитого термометра, так и улетучивание ртути из металлических пломб под воздействием температуры тела (Stock, 1926).

Растения лучше защищены от действий тяжелых металлов, т. к. становятся в большинстве случаев их носителями. Фитотоксичность ртути проявляется в основном в подавлении роста веток и корней растений, ускорения их старения (Коваль, 2003; Kabata-Pendias, 2011).

Бионакопление ртути в растениях зависит от множества факторов. Согласно исследованиям О.Н Гордеевой (2012), ветви древесных растений накапливают меньше токсичного элемента, чем листья, с разницей одного порядка. Это объясняется возможностью осаждения пыли на листья, физиологической способностью и поглотительной способностью из атмосферного воздуха.

Более 80 лет назад, были получены данные, что ртуть содержится в растениях в основном в незначительных процентах: сосна - $2,4 \cdot 10^{-6}$ %, бук - $1,5 \cdot 10^{-6}$ %, горох - $1,2 \cdot 10^{-6}$ % и т.д. (Stock U. Cucuel., 1934). Это послужило причиной мнения о невозможности концентрации этого элемента, но на данный момент

имеется большое количество публикаций, посвященных особенностям и процессам загрязнения растений ртутью (Zhongchuang, 2016; Assad, 2016 et al).

Концентрация ртути в растениях, как правило, увеличивается с вегетационным периодом и варьирует в зависимости от положения объекта относительно сторон света (Bushey , 2008; Poissant , 2008, Зволинский, 2015). Есть несколько и других факторов окружающей среды влияющих на степень проникновения загрязнений; количество осадков, их кислотность, скорость ветра, относительная влажность воздуха, а так же свойство загрязнения частиц и соединений металлов (размеры, формы, химическая природа и т.д.) (Дорожукова, 2000).

В настоящее время установлены механизмы поглощения ртути через корни, кору и листья (Иванов, 1997; Лапердина, 2000). Так, самое высокое содержание зафиксировано в коре деревьев, т.к. непосредственно соприкасается с атмосферой и аккумулирует в себе загрязняющие элементы в течении длительного времени. Самое низкое содержание приходится на листья растений, в связи с сезонным характером объекта. Но концентрация ртути в них не является постоянной величиной и зависит от множества факторов (вулканическая деятельность, наличие поблизости источника загрязнения, сезон отбора пробы и т.д.). Чаще всего концентрации металлов достигают своих максимумов в сентябре-октябре, и проведение отбора рекомендовано перед началом листопада (Ялалтдинова, 2015). На накопление ртути также влияет видовая специфика изучаемого объекта (Гордеева, 2012). По данным А.Г. Гороховой (2017), максимальное содержание ртути приходится на дуб, минимальное на сосну. Среднее положение занимает береза (Горохова, 2017).

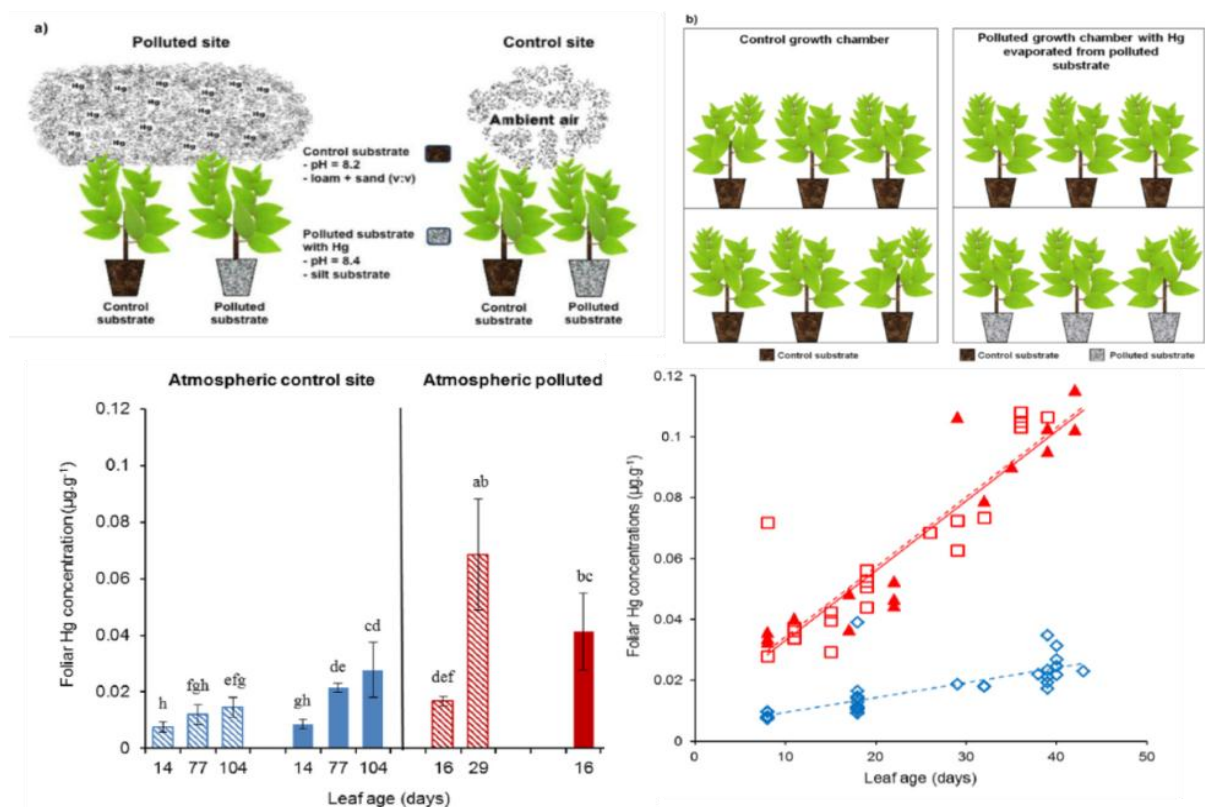


Рисунок 1.2 – Установление основного пути поглощения ртути листьями из внешней среды (Assad et al., 2016)

Токсичный элемент аккумулируется в листьях растений преимущественно из атмосферного воздуха (Assad, 2016; Ильин, 2002; Горохова, 2017). На рисунке 1.2 показан эксперимент, указывающий на оценку относительного вклада корневого и атмосферного пути поглощения ртути листьями тополя. Черенки тополя высаживали в загрязнённый ртутью и чистый субстрат, помещенный в закрытую камеру с загрязнённым ртутью воздухом. В результате анализа доказано, что аккумуляция ртути в листьях тополя осуществляется преимущественно из атмосферного воздуха (Assad, 2016). Кроме того, растения выделяют элемент обратно в воздух, со скоростью 250 мг/кг сырой массы в час, в виде диметилртути (Ляпина, 2012). Содержащие ртуть частицы, попадая из воздуха на растения, частично задерживаются на них в виде поверхностных отложений, а частично удаляется осадками и ветром (Аксенова, 2017; Максимов, 1948).

Ртуть один из самых чувствительных элементов индикаторов при биогеохимических поисках месторождений. По Д.П. Малюге (1969) фоновые содержания в золе растений ртути, составляют $0,1 \cdot 10^{-6}$ %. Максимальная концентрация в растительности устанавливается на ртутных и колчеданных месторождениях во внешних слоях стволов хвойных деревьев и березы, а также хвой лиственницы и шишки. Максимальный растительно-почвенный коэффициент концентрации отмечается над зонами с наличием самородной ртути (Малюга, 1963).

Таблица 1.2 –Содержания ртути в растительности

№	Содержание	Объект	Источник
1	10-80 мкг/кг	Травянистые растения	Ермаков, 2010
2	8-26 мкг/кг	Листья и хвоя деревьев	Ермаков, 2010
3	21-39±9-17 нг/г (фон) 76-7830±34-1900 нг/г (район амальгамации ртути)	<i>Angelica sylvestris</i>	Низовцев А.Н. и др. 2010
4	15-92±7-41 нг/г (фон) 75-3090±34-772 нг/г (район амальгамации ртути)	<i>Epilobium angustifolium</i>	
5	33-82±15-37 нг/г (фон) 842-16200±211-4050 нг/г (район амальгамации ртути)	<i>Dechampsia cespitosa</i>	
6	48,5-54,5±4,6-6,4 мкг/кг	Укос <i>Festuca valesiaca</i> . <i>Stipa capillata</i> . <i>Artemisia tianschanica</i>	Асаналиева Н.А., 2010
7	9,4-14,1 мкг/кг	Растительность, Белгородская область	Лапердина Т.Г., 2000
8	1,5-65 мг/кг	Растительность, Словения (Идрия)	
9	0,004-0,048 мг/кг	Бальзамические и хвойные деревья, Канада	
10	0,015-0,018 мг/кг	Акация	Аношин Г.Н. и др., 1995 Алтайский край
11	0,031-0,076	Ами	
12	0,063	Бадан	
13	0,021-0,044	Брусничник	
14	0,018-0,023	Василистник	
15	0,023	Володушка	
16	0,009	Донник	
17	0,1-0,03	Душица	
18	0,02-0,03	Зизифора	
19	0,01	Зопник	
20	0,01-0,02	Ковыль	
21	0,016-0,0223	Кострец	
22	0,013-0,034	Курильский чай	

Продолжение таблицы № 1.2

23	0,01	Люцерна	
24	0,031	Манжетка	
25	0,01	Марьин корень	
26	0,018-0,02	Овсяг	
27	0,017-0,07	Осока	
28	0,01-0,046	Полынь	
29	0,018-0,04	Пырей	
30	0,03	Ревень	
31	0,019	Солодка	
32	0,015 мг/кг	Тимофеевка	
33	0,018 мг/кг	Тмин	
34	0,02 мг/кг	Тысячелистник	
35	0,011-0,016 мг/кг	Цикорий	
36	0,2-0,037 мг/кг	Чабрец	
37	0,01-0,03 мг/кг	Чемерица	
38	0,02-0,029 мг/кг	Чий	
39	0,041 мг/кг	Шикша	
40	0,028-0,056±0,002-0,003 мг/кг	<i>Populus balsamifera</i> L.	Лескова О.А. и др., 2013 Г. Чита
41	0,0015 г/кг	Juncaginaceae	Бабаев Э.Р. и др., 2015
42	0,0031 г/кг	подсолнечник	Апшеронский п-в
43	0,0027 г/кг	Фасоль	
44	0,05-0,76±0,01-0,05 нг/г	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	
45	0,11-0,61±0,02-0,04 нг/г	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	
46	0,11-0,51±0,01-0,03 нг/г	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	
47	0,13-0,26±0,02-0,03 нг/г	<i>Elodea Canadensis</i>	V. Munteanu, 2007 Молдова
48	0,09±0,02 нг/г	<i>Typha latifolia</i> L.	
49	0,09±0,02 нг/г	<i>Pragmites australis</i>	
50	0,08-0,14±0,02 нг/г	<i>Butomus umbellatus</i> L.	
51	0,25±0,04 нг/г	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	
52	1,43-40,17 нг/г	<i>Populus</i>	F.Maillardetal, 2016
53	3,18-18,74 нг/г	<i>Salix</i>	Западная Европа, производство хлора, кольца деревьев
54	0,75-2,40 нг/г	<i>Robinia</i>	
55	2,54-4,02 нг/г	<i>Fraxinus</i>	
56	1,53-3,88нг/г	<i>Rhamnus</i>	
57	0,012 мкг/кг	<i>Populus nigra</i>	Чуйков Ю.С., 2012 Астрахань
58	0,005-0,031 мг/кг	<i>Populus nigra</i>	Новиков А.В. и др., 2008
59	1,13 мг/кг	Побегах мари белой	Ашихмина Т.Я., 2015
60	4,7 мг/кг	Листьях обыкновенной полыни	В Кирово-Чепецком районе Кировской области

Продолжение таблицы № 1.2

61	0,029-0,745±0,007-0,193 мг/кг	Artemisia sp.	Дженбаев Б.М., 2015 Хайдаркан
62	0,16-0,63 мг/кг	Картофель	Сагателян А.К., 2015 Армения
63	0,48-1,44	Кормовые травы	
64	0,001-0,63 мг/кг	Сельхозпродукция	
65	0,019	Травы	Щербов Б.Л., 2015 Сибирь
66	0,024	Хвоя	
67	31 мг/кг	Травянистые растения (марь белая, полынь обыкновенная, двукисточник тростниковидный, крапива двудомная) – наземная часть, черемуха обыкновенная – листья.	Скугорева С.Г. и др., 2012 Кирово-Череповецкая агломерация
68	0,00002%	Хвоя сосны	Гусев А.И., 2013 Горный Алтай

Возможность восстановить историю поступлений ртути на участках, которые были загрязнены антропогенными источниками, была бы очень ценной. Для отслеживания динамики поступления различных химических элементов (Адаменков, 1982; Williams, 1986; Катаяма, 1997; Архангельская, 1998; Bindler, 2004; Робертус, 2010; Демаков, 2011; Рихванов, 2015; Yigit, 2019; Kiss, 2019; Миронова, 2020), в том числе и ртути (Abreu, 2008; Abreu, 2008; Ляпина, 2009; Maillard, 2016; Navrátil, 2017; Kang, 2019; Jung, 2018), используются годовые кольца деревьев. Одно из первых исследований было направлено на сравнение временного и пространственного изменения концентраций ртути в древесных кольцах на участках с разной степенью загрязнения почвы (Zhang, 1995). Это исследование доказало, что ртуть в кольцах деревьев осаждалась из атмосферы на поверхность дерева - не было никаких признаков поглощения ртути из почвы. Солнечное излучение, температура и географическое расположение влияют на поглощение ртути. Позже кольца деревьев использовались для мониторинга загрязнения токсичного элемента в промышленной зоне.

Кольца деревьев также использовались в качестве геохимических «архивов» в ряде исследований различных видов деревьев и различных элементов

(Рихванов, 2015). Факторы, влияющие на применимость дендрохимического анализа, включают различия в: видах и физиологии деревьев, предметах исследования, уровнях осаждения и в некоторых случаях видов почв и присутствием в них загрязняющего элемента.

Кроме того, деревья в лесных экосистемах могут накапливать металлы из окружающей среды, причем атмосферная ртуть является основным предметом поглощения листвой (Fleck, 1999; Ericksen, 2003). Дендрохимический метод может использоваться для изучения долгосрочной тенденции загрязнения воздуха ртутью как от природных источников (Clackett, 2018) так и от антропогенных (Zhang, 1995; Abreu, 2008; Siwik, 2010; Hojdová, 2011; Wright, 2014; Raae Jung, 2017; Navrátil, 2017; Eccles, 2020; Ghotra, 2020).

Примерами дендрогеохимической оценки выбросов ртути от антропогенного источника служит исследование выбросов от хлорно-щелочного завода в западной Европе (Maillard, 2016), где четко видна зависимость концентрации ртути от изменений в технологическом процессе (рисунок 1.3). Производство в хлорщелочной установке началось в 1950 году, когда сточные воды были сброшены непосредственно в поток. Четко проявляется пик 1964 года, когда была построена плотина. После 1972 год идет спад, связанный с удалением осадка из водохранилища с целью уменьшения производительности.

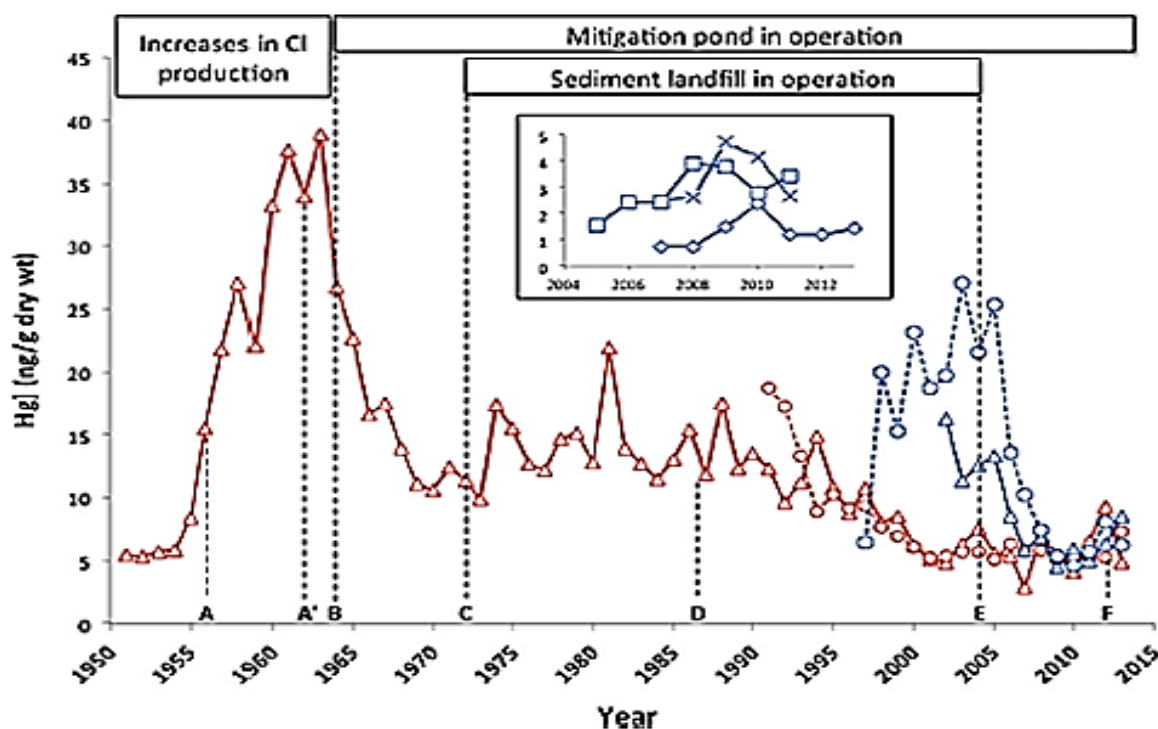


Рисунок 1.3 – Дендрогеохимическая оценка (по тополи) выбросов ртути из пруда хлорно-щелочного завода в Западной Европе (Maillard , 2016)

Примечание: синий график-пробы отобраны в районе полигона, красный-контрольная точка. Пунктирные линии-определенные события повлиявшие на изменение концентрации ртути.

Подобное исследование проведено в Корее по данным опробования с деревьев на разном расстоянии от источника ртутного загрязнения-завода удобрений (Raе Jung., 2017). Примером важной особенности дендрогеохимических исследований, а именно, возможности проследить изменения концентрации ртути в долгосрочном периоде, служат данные о содержании ртути в годовых кольцах ели канадской (*Picea glauca*). Анализ годичных колец позволил ученым проследить динамику концентрации этого металла в биосфере за последние 400 лет (Clackett, 2018) (рисунок 1.4).

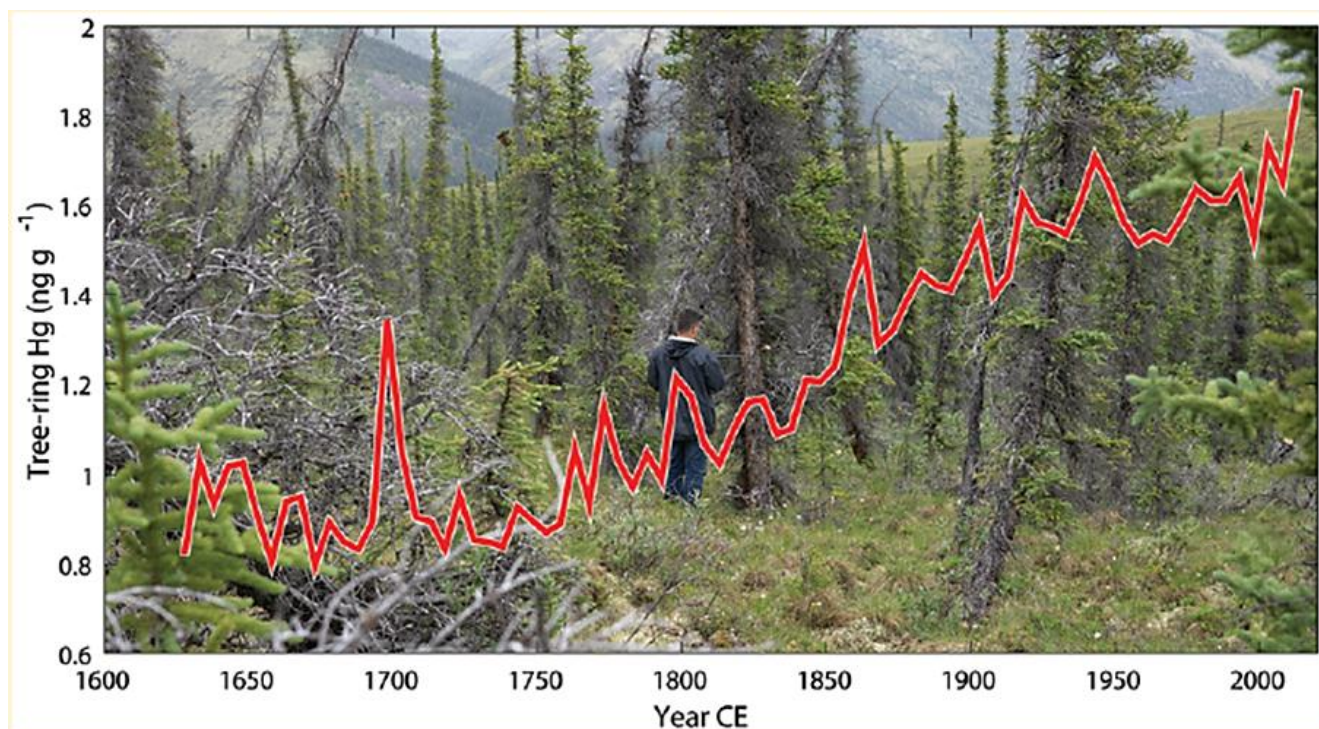


Рисунок 1.4 – Динамика изменения содержания ртути в биосфере за последние 400 лет по данным изучения годичных колец *Picea glauca* в Северной Америке (Sydney, 2018)

Исследования, проведенные канадскими учеными при помощи годичных колец, показывают на наличие низких концентраций ртути до ~ 1750 г. н.э., постоянное повышение с 1750-1950 гг. (более быстрое увеличение после 1850 г.), пауза от 1951-1975, а затем возобновленное увеличение, которое продолжается по настоящее время (Sydney, 2018).

Таким образом, проведенные исследования по литературным источникам показали, что, ртутная токсикация растений является наиболее опасным проявлением антропогенного воздействия и приводит к необратимым последствиям в физиологии всего растительного организма. Выбор подходящих биомониторов основан на знании их географического распространения, генетической однородности и специфичной чувствительности к конкретному загрязнителю (Nimis, 1990; Bargagli, 1998; Markert, 2003).

В связи с техногенным преобразованием биосферы, экогеохимия растений приобретает особую актуальность (Голубев, 2019).

Проведенный обзор литературы показывает, что использование различных объектов для определения поступления ртути в окружающую среду довольно популярны. Но в тоже время, при значительном разнообразии работ по изучению ртути в различных объектах, такой объект как листья деревьев изучен недостаточно полно, особенно для локальных территорий Сибири и Дальнего Востока.

2. Объекты и методы исследования

2.1 Обоснование выбора объекта исследования

Тополь широко распространен на урбанизированных территориях (рисунок 2.1.1; рисунок 2.1.2) ввиду своей неприхотливости, морозоустойчивости, скорости роста и восстановления, он успешно адаптируется к любому виду почв, хорошо переносит засуху. Также для данного рода растений характерна устойчивость к дыму и газу (Холявко, 1976).

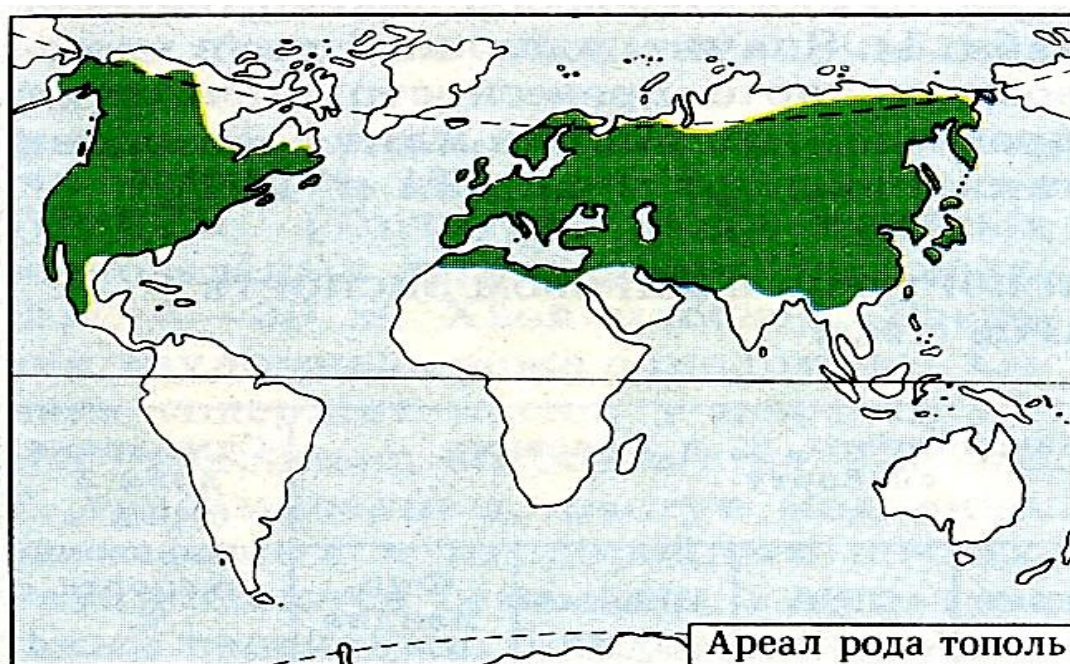


Рисунок 2.1.1 – Ареал распространения рода тополь (Дендрология ...)

Лист тополя достаточно широкий, клейкий (за счет содержания в нем смолы) и ворсистый, что позволяет легко улавливать загрязняющие вещества из воздуха (Шиманюк, 1974) . За вегетационный период, на дерево с листовой поверхностью общей площадью около 50 см^2 , осаждается 44 кг пыли у тополя черного (*Populus nigra*), 53 кг у тополя серебристого (*Populus alba L.*) (Жумадилова, 2014) . По данным А.Ж. Жумадиловой (2014) , среднее количество пыли, улавливаемой листьями деревьев в центральной части города, намного выше, чем в «зеленой зоне». Так, масса пыли (мг) в расчете на 1 лист у тополя бальзамического (*Populus balsamifera L.*) отобранного в центральной части города

составляет $45,0 \pm 1,36$, окраине $41,3 \pm 1,45$, в то время как в «зеленой зоне» - $18,9 \pm 0,80$.

Корневая система деревьев рода тополь хорошо сформирована, часто поверхностная и уходит за границы кроны (Шиманюк, 1974), что может служить дополнительным накопителем элементов.

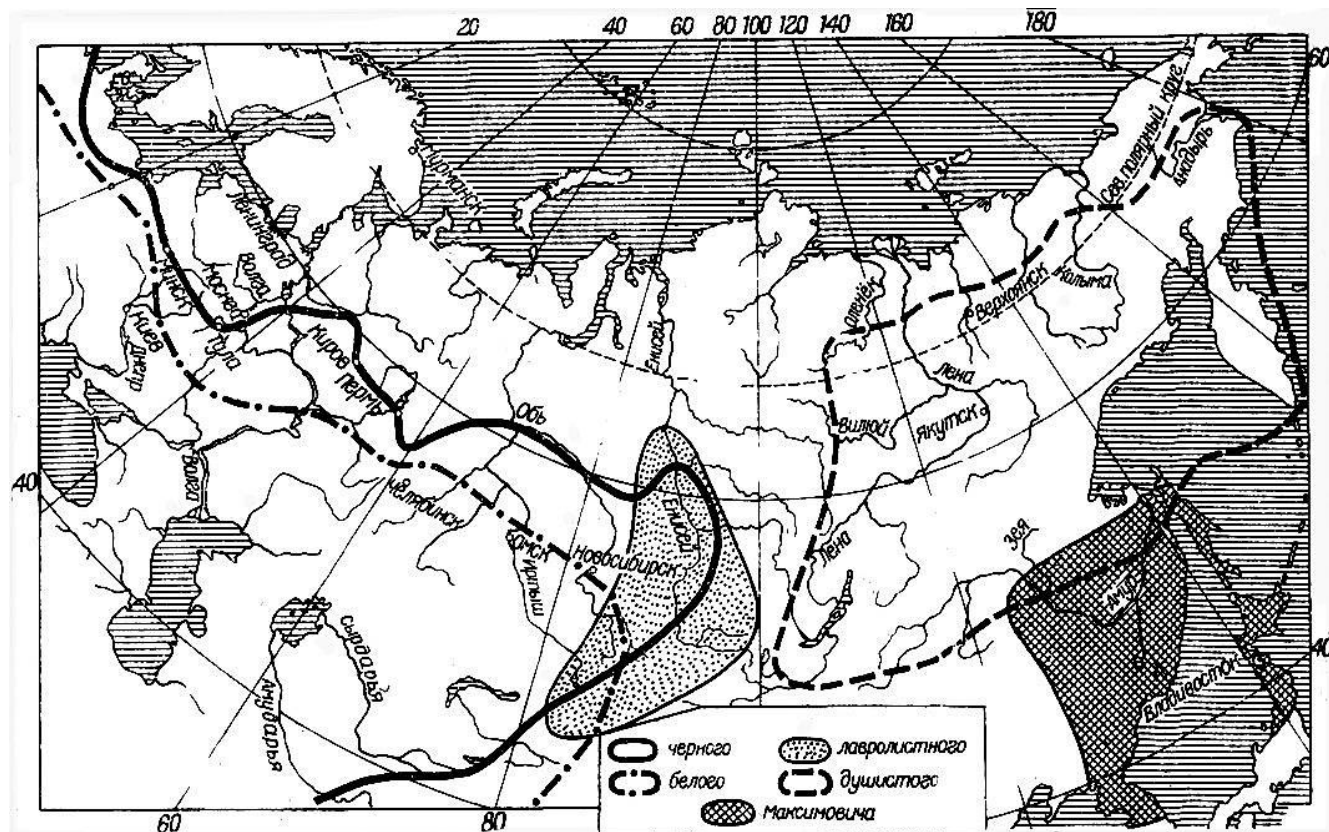


Рисунок 2.1.2 – Ареал распространения некоторых разновидностей тополя (*Populus L.*) (Шиманюк, 1974)

Для исследований использовались:

Тополь бальзамический (*Populus balsamifera L.*) – вид тополя, произрастающий на всей территории Сибири. Достигает в высоту до 30 м, имеет листья и почки, покрытые душистой смолой. От других групп отличаются наличием настоящих укороченных побегов с 2–5 листьями, близко расположенными друг к другу (рисунок 2.1.3). Большая часть ($\approx 80\%$) отобранных образцов для исследования принадлежит к этому виду.

Тополь черный (*Populus nigra*) – вид, приуроченный к приречным и пойменным местообитаниям, с характерными дельтовидными листьями на

длинных черешках. Наиболее долговечен из всех тополей, может доживать до 200–250 (по другим данным до 400) лет (Шиманюк, 1974).



Рисунок 2.1.3 – Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L)

Тополь белый (серебристый) (*Populus alba* L.) схож с осиной, но имеют характерную только для этого вида пальчато-лопастную форму листьев порослевых побегов и беловойлочное опушение нижней стороны этих листьев (Интернет-журнал «Живой лес»...). Вид данного тополя был задействован в методическом эксперименте по изменению содержания ртути в листьях тополя в зависимости от его вида.

Тополь дрожащий (осина) (*Populus tremula* L.) наиболее распространенная группа тополей, почки и листья которых не выделяют душистой смолы, а листовые пластинки широкие, с волнисто-зубчатым краем и длинными черешками. Для исследования был отобран на территории гг. Саянск и Аршан.

Тополь душистый (*Populus suaveolens*) светолюбивый вид с быстрым темпом роста, устойчивостью к холодным температурам и чувствительностью к загрязненному воздуху. Кора зеленовато-серебристая, кроны широкая и раскидистая. Почки с характерным сильным ароматом. Листья крупные, сердцевидные, глянцевые, с тыльной стороны сизовато-зеленые. Черешки с легким опушением (Шиманюк, 1974). Был отобран на территории Тункинской котловины.

2.2 Отбор проб и пробоподготовка

В период с 2014 по 2019 гг. с целью проведения эколого-геохимической оценки состояния территории городов юга Сибири, был проведен отбор проб листьев и керна тополя.

В основном, отбор листьев проходил по равномерной сети, охватывающей большую часть урбанизированной территории исследуемого города. Шаг отбора зависел от площади территории города и варьировался от 1x1 до 4x4 км (рисунок 2.2.1). Отбор проводился согласно стандартной методике (Зырин, 1981; Bargagli, 1998), в период наивысшей физиологической активности (август), в ясную погоду с разных сторон нижней кроны дерева на высоте 1.5-2.5 метра общей массой 5-200 гр. Отобранные образцы помещались в крафт-пакеты с указанием координат отбора проб, даты, вида материала и индивидуального шифра. При полном опробовании территории проводилась окончательная упаковка проб в коробки с составленной ведомостью с указанием перечня проб и отправлялась в лабораторию на дальнейшую подготовку, анализ и хранение.

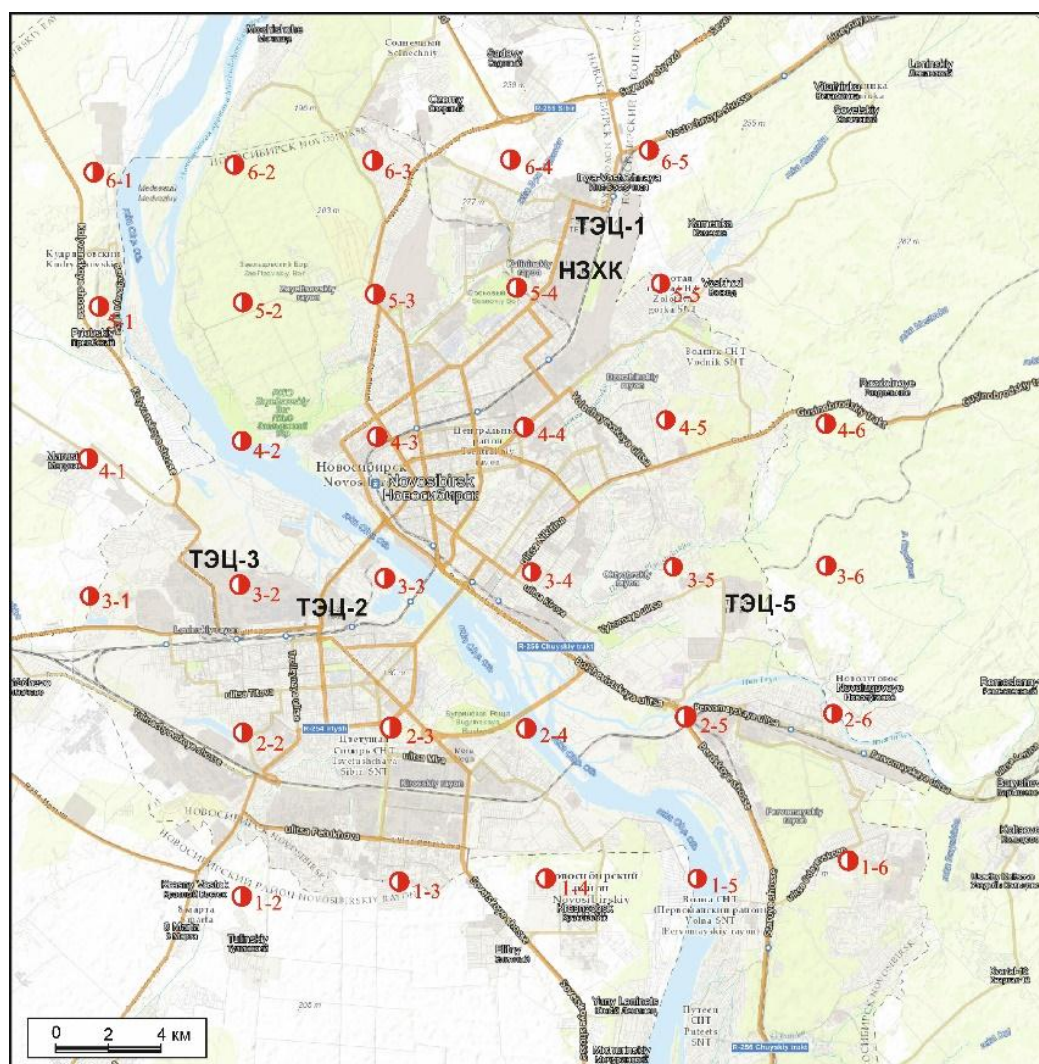


Рисунок 2.2.1 – Карта-схема отбора проб на территории г.Новосибирск

Примечание: точками обозначены места отбора проб, НЗХК - Новосибирский завод химконцентратов, ТЭЦ-теплоэлектростанция

Также, проводился отбор проб с отдельно стоящих деревьев, произрастающих вдоль трасс между городами.

Пробы листьев были отобраны на территориях 6 областей, 1 края и 3 республик. Всего было отобрано 1200 проб.

Томская область: Колпашево (9), вдоль трассы Томск-Колпашево (26), Стрежевой (6), Асино (14), вдоль трассы Томск-Асино (7), Северск (17), Томск (19), Белый Яр (5), Каргасок (12). Кемеровская область: Кемерово (41), Новокузнецк (46), Мыски (8), Междуреченск (4), дополнительно между городами - 69. Новосибирская область: Новосибирск (84). Омская область: Омск (33).

Тюменская область: Тобольск (21), Тюмень (30). Алтайский край: Новоалтайск (9), Бийск (35), Барнаул (31), Яровое (8), Славгород (7), Белокуриха (19), Горняк (17), Рубцовск (20), Зариинск (7). Красноярская область: Красноярск (35), Ачинск (17). Республика Хакасия: Сорск (18), Черногорск (17), Абакан (21), Саяногорск (19), другое (6). Иркутская область: Братск (38), Иркутск (33), Ангарск (20), Слюдянка (5), Шелехов (9), Черемхово (5), Тункинская долина (35), Усолье-Сибирское (21), Зима (5), Саянск (14), Свирск (2). Республика Бурятия: Улан-Удэ (33), Усть-Баргузин (6), Северобайкальск (15), Нижнеангарск (11), Закаменск (19). Забайкальский край: Краснокаменск (26), Чита (30), другое (16). Якутия: Якутск (8), Нерюнгри (24). Республика Тыва: Кызыл (18), другое (17). Республика Алтай (6) (рисунок 2.2.2). Для определения трансграничного переноса было отобрано 30 проб на территории Павлодарской области (Республика Казахстан).



Рисунок 2.2.2 – Карта-схема изученных территорий (1) и количество отобранных проб листьев тополя (2) (2014-2019)

Пробы листьев тополя, на исследуемых территориях, отбирались студентами и сотрудниками отделения геологии Томского политехнического

университета, под руководством д.г.-м.н, профессора ИШПР ТПУ Л.П. Рихванова и к.г.-м.н., доцента ИШПР ТПУ Д.В. Юсупова.

Путем сравнения содержания поллютанта с фоновыми значениями или историческими методами (годовые кольца), может быть выявлена степень пространственно-временных изменений концентраций элемента. Поэтому, дополнительно для исследования динамики накопления ртути от природных и техногенных источников в древесных объектах, были отобраны керны тополя.

Опробование керна на территории г. Новосибирск было проведено автором совместно со студентом ИШПР ТПУ Я.С. Матвиенко в ноябре 2017 г. (4 точки опробования) (рисунок 2.2.3). Пробы керна отобранного на территории Байкальской Рифтовой зоны в 7 точках опробования (2018г.) были предоставлены к.г.-м.н, с.н.с ИМКЭС СО РАН Е.Е. Ляпиной (рисунок 2.2.4).

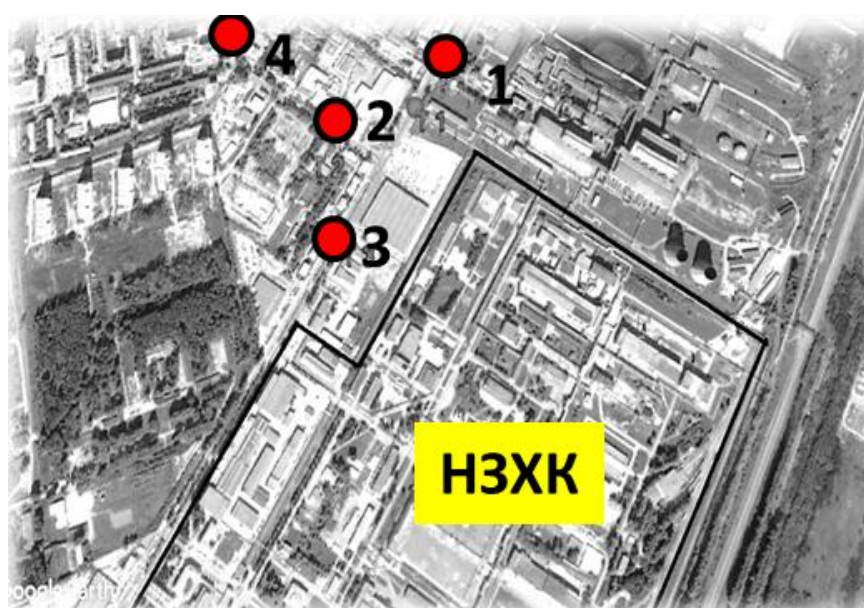


Рисунок 2.2.3 – Схема отбора проб керна тополя в г.Новосибирск (2017)

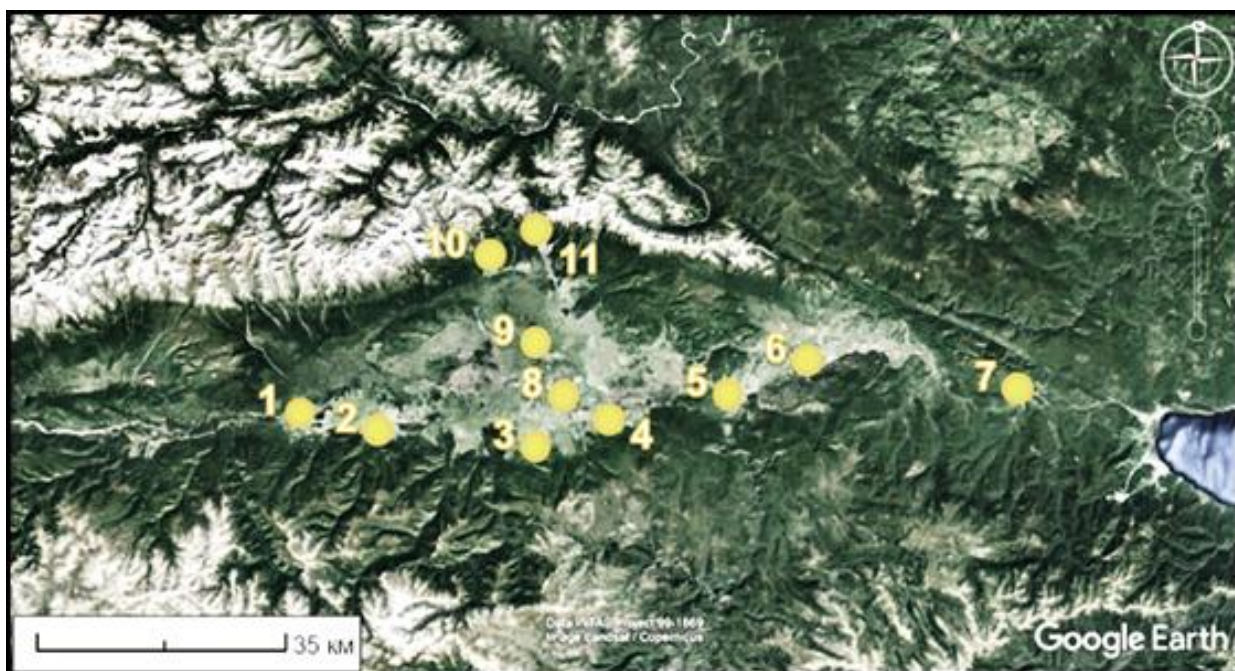


Рисунок 2.2.4 – Карта отбора проб керна тополя в Тункинской котловине (2018)

Керн отбирался на высоте 1.5-2.5 метров, с наветренной и подветренной стороны дерева (Шиятов, 2000) Для исследования техногенного источника, керны отбирались с отдельно стоящих деревьев в непосредственной близости от источника загрязнения, но на разном удалении, в сезон низкой физиологической активности дерева. Для отбора проб использовался приростной бурав.

Приростной (возрастной) бурав или же, бурав Пресслера - дендрохронологический инструмент, предназначения для взятия проб древесины. Инструмент позволяет совершать отбор проб с минимальным причинением вреда дереву. Бурав состоит из стержня, сверла, экстрактора и применяется для определения возраста, прироста деревьев, а также химической проницаемости (рисунок 2.2.5).

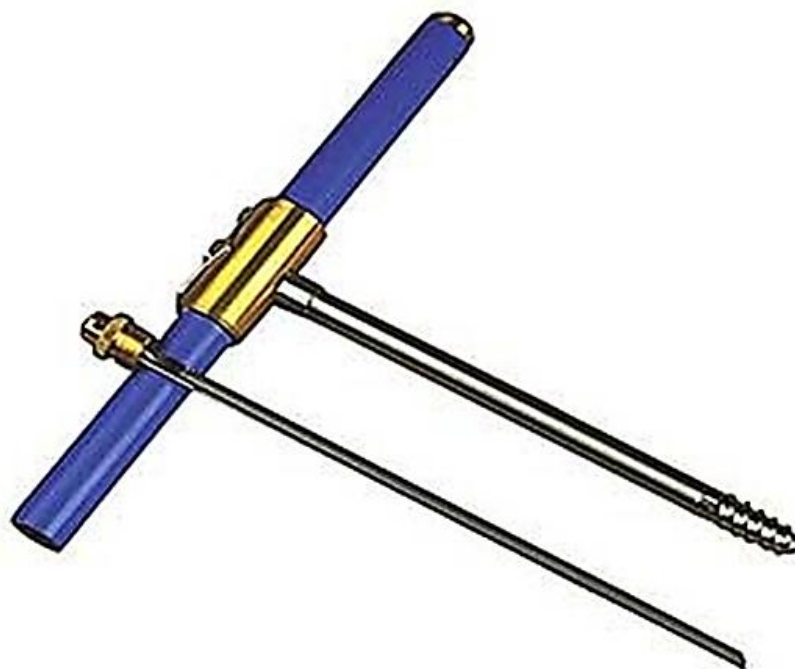


Рисунок 2.2.5 – Приростной (возрастной) бурав (Определение отличительных признаков древостоя...)

Инструмент при равномерном нажатии на бурав, вкручивался режущей частью сверла в намеченную точку дерева под углом 90° до упора. Проба, находящаяся в желобке экстрактора, аккуратно извлекалась и помещалась в бумажный пенал превышающий диаметр отобранного образца минимум на 2 мм. Диаметр отобранных кернов 4-5 мм, длина в среднем - 20 см. Каждой пробе присваивался индивидуальный шифр, указывающий на номер, вид дерева, место и стороны отбора. Отверстие в стволе дерева, после взятия пробы, обрабатывалось садовым варом для предотвращения попадания болезнетворных бактерий и грибков. При наличии в пробе дефектов, проводился повторный отбор.

Сушка листьев и кернов тополя проходила при комнатной температуре в закрытом вентилируемом помещении. Высушенные пробы листьев измельчались вручную для гомогенизации распределения поллютанта и отправлялись на анализ.



Рисунок 2.2.6 – Зачищенный керн тополя в брусках с Тункинской котловины

После просушки, керн помещался на деревянную основу с последующим зачищением торцевой стороны пробы крупнозернистой шлифовкой и полировкой мелкозернистой (рисунок 2.2.6).



Рисунок 2.2.7 – Общая схема пробоподготовки проб листьев и годовичных колец древесных растений рода тополь

Для точной маркировки колец использовался прибор LINTAB оснащенный бинокулярным микроскопом. Предварительная маркировка проводилась в лаборатории дендрэкологии Института мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН (г. Томск). Маркировка и датировка выполнялась при помощи нанесения засечек скальпелем у границы каждого кольца, либо нанесением точек карандашом. Керн разделялся на отдельные кольца при помощи скальпеля и пинцета, далее измельчался. Общая схема подготовки проб листьев и годовичных колец тополя к атомно-абсорбционному анализу представлена на рисунке 2.2.7.

2.3 Методы лабораторных исследований

2.3.1 Атомно-абсорбционный анализ

Все подготовленные пробы листьев и керна тополя отправлялись на атомно-абсорбционный анализ на анализаторе «РА-915+» с приставкой «ПИРО-915+» в лабораторию микроэлементного анализа в составе Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» при отделении геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета. Анализ проводился под руководством к.г.-м.н., с.н.с. лаборатории физики и климатических систем ИМКЭС СО РАН Ляпиной Е.Е и к.х.н., зав. лабораторией микроэлементного анализа, доцента ИШПР ТПУ Осиповой Н.А.

Суть атомно-абсорбционного анализа заключается в измерении поглощения резонансного излучения свободными атомами, которые находятся в газовой фазе, за небольшой промежуток времени.

Для проведения атомно-абсорбционного анализа использовался анализатор ртути «РА-915М» с пиролитической приставкой «ПИРО-915+» (рисунок 2.3.1.1).

Преимущества и специфика установки:

-возможность прямого определения содержания ртути в жидких и твердых пробах без дополнительной пробоподготовки;

-определение элемента без его предварительного накопления на золотом сорбенте;

-широкий диапазон измерений;

-устранение влияния высоких содержаний в пробе хлорид-ионов и бензола на результаты анализа путём нагрева аналитической кюветы до 700°C;

-широкий диапазон выбора массы навески;

-возможность выбора оптимальной температуры испарителя и функция «Форсаж»;

-отсутствие холодных участков газового тракта между атомизатором и аналитической кюветой улучшает воспроизводимость и правильность анализа;

-визуализация процесса выхода ртути из образца;

-стабильность градуировочного коэффициента, которую обеспечивает встроенная система контроля скорости прокачки и мощности нагревателей (Аналитическое оборудование «Люмекс...).



Рисунок 2.3.1.1 – Анализатор ртути «РА-915М» с пиролизической приставкой «ПИРО-915+» (Аналитическое оборудование «Люмекс...)

Анализатор ртути «РА-915М» в комплекте с приставкой «ПИРО-915+» применяется в пищевой и нефтеперерабатывающей промышленности, медицине и

ветеринарии, для санитарного и экологического контроля (Аналитическое оборудование «Люмекс...).

В термоблоке происходит термическое разложение образца с одновременной атомизацией ртути. Пиролитическая приставка соединена с анализатором «РА-915М» при помощи специального устройства, где происходит определение содержания ртути. Обработка результатов измерений осуществляется с помощью программного обеспечения «Рапид». Предварительными экспериментами в режиме «Форсаж» показано, что выбранный режим (скорость прокачки воздуха 0,8-1,2 л/мин., температура испарителя 680-740 °С) обеспечивает полноту выделения ртути (Евстафьева, 2019).

Навеска пробы массой 20 - 40 мг помещается в ложечку-дозатор, которая вводится в приставку «ПИРО-915+» после включения интегрирования аналитического сигнала. Интегрирование завершается после возвращения аналитического сигнала на базовую линию в течении 60–120 с.

Для построения и контроля стабильности градуировочных характеристик при определении массовой доли ртути в твердых объектах использовали стандартный образец состава листа березы ЛБ-1, ГСО 8923-2007, С атт.= 37±6 мкг/кг, С изм.=33±10 мкг/кг.

Контроль стабильности градуировочного коэффициента проводится перед началом работы.

Для характеристики воспроизводимости использовали относительное стандартное отклонение RL ($RL \leq 13\%$) при числе параллельных измерений $n = 2$ и доверительной вероятности $P=0,95$.

Низший предел обнаружения определен экспериментально путем построения графика зависимости относительного стандартного отклонения от концентрации, и по нижней точке градуировочного графика (Экспериандова, 2010), и составил 2 мкг/кг.

Контроль воспроизводимости (внутрилабораторной прецизионности) проведен по результатам измерения содержания ртути в 73 образцах листьев тополя двумя исполнителями в разное время в 2017 г (рисунок 2.3.1.2).

По результатам анализов рассчитывали фактическое расхождение внутрилабораторной прецизионности ($R_{пл}$) по формуле (1):

$$R_{пл} = X_{\max} - X_{\min}, \quad (1)$$

где X_{\max} и X_{\min} - максимальный и минимальный результаты анализа, полученные в условиях внутрилабораторной прецизионности (ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002).

Результаты (рисунок 2.3.1.2) удовлетворяют критерию $R_{пл} \leq 0,8 R_{л}$, где $R_{л}$ – предел внутрилабораторной прецизионности, который установлен в лаборатории, и, следовательно, считаются удовлетворительным.

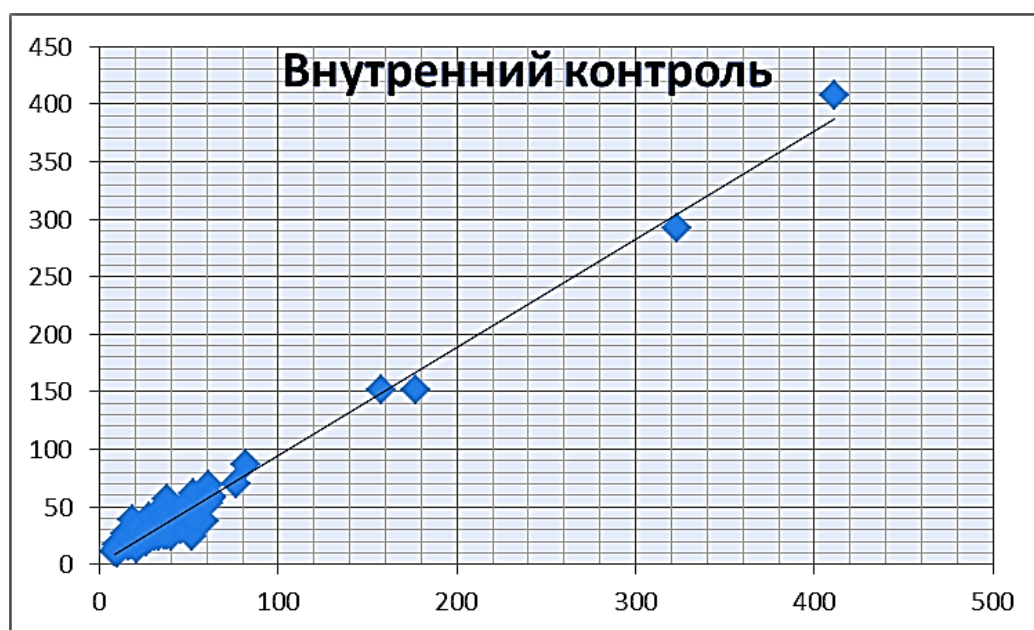


Рисунок 2.3.1.2 – Внутренний лабораторный контроль проб сухой массы листьев тополя (n=73)

Также, в 2017 был проведен внешний лабораторный контроль в лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) (рисунок 2.3.1.3).

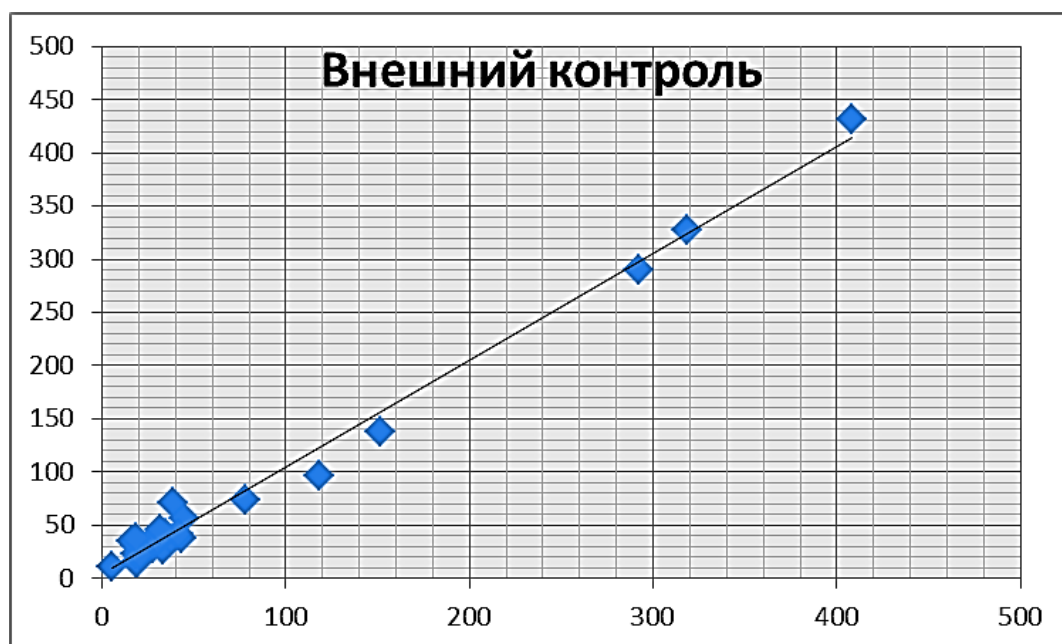


Рисунок 2.3.1.3 – Внешний лабораторный контроль проб сухой массы листьев тополя (n=27)

Таблица 2.3.1.1– Характеристика погрешностей измерений

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

*Соответствует расширенной неопределенности при коэффициенте охвата, равном 2.

Таблица 2.3.1.2 – Технические характеристики ртутного анализатора «РА-915М» (Аналитическое оборудование «Люмекс...»)

Пределы допускаемой относительной погрешности, d_0 , %	основной	± 20
Верхняя граница измерений	диапазона	5 мг/кг

Продолжение таблицы № 2.3.1.2

Время анализа	1-5 мин
Допустимые навески проб	10-500 мг

Анализ на определение форм ртути проводился на том же приборе методом термодесорбции на разных температурных режимах. Данный метод основан на термическом разрушении и последующем выделении ртути в газовые фазы при ступенчатом нагреве проб.

В начале измерения нагрев образца происходил при температуре 150°C с последующим ступенчатым нагревом каждые 50 секунд на 50°C до 850°C .

Как видно на рисунке 2.3.1.4, формы ртути обозначаются как: свободная (СВ), физически сорбированная (ФС), хемосорбированная (ХС), минеральная (сульфидная) (М) и изоморфная (ИЗ). Для каждой формы установлены интервалы температур выхода: свободная – ($150\text{--}160^{\circ}\text{C}$), физически сорбированная – ($250\text{--}290^{\circ}\text{C}$), хемосорбированная – ($310\text{--}320^{\circ}\text{C}$), минеральная – ($350\text{--}410^{\circ}\text{C}$), изоморфная – ($500\text{--}1000^{\circ}\text{C}$) (Таций, 2010).

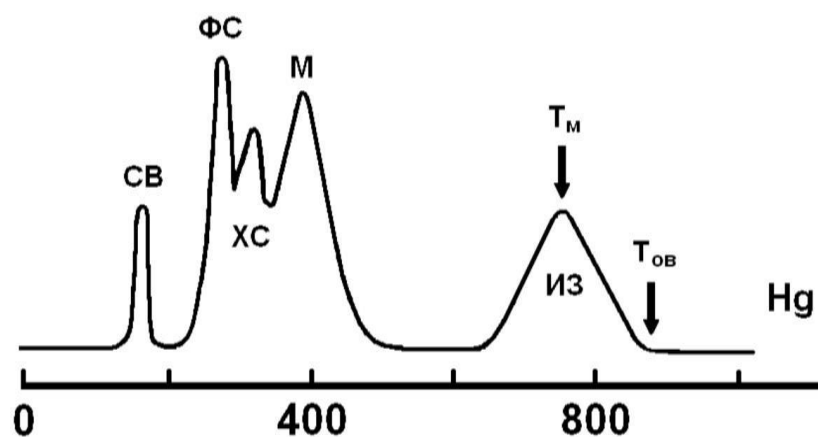


Рисунок 2.3.1.4 – Термоспектры неорганических форм ртути (Таусон, 2000)

Метод термодесорбции позволяет разделить техногенные и природные формы ртути, а также провести оценку потенциального риска.

2.3.2 Метод обработки результатов

После получения результатов анализа проводилась статистическая обработка данных при помощи программ Microsoft Office Excel, Microsoft Office Word, STATISTICA.

Графическая обработка данных осуществлялась при помощи программного обеспечения: CorelDraw, Surfer, Adobe Illustrator, Origin, Google Earth.

Таким образом, было проанализировано 2006 проб включающих: листья, опад, годовые кольца деревьев рода тополь и почву при атомно-абсорбционного метода на ртутном анализаторе «РА-915+» с приставкой «ПИРО-915+» в лабораторию микроэлементного анализа в составе Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» при отделении геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета. Формы ртути определялись на том-же приборе методом термодесорбции.

Территория опробования охватила урбанизированные районы Южной Сибири.

Для выявления случайных и систематических погрешностей, проводился внутренний и внешний контроль проб. Внутренний контроль проводился путем повторного анализа зашифрованных проб, во внешнем контроле анализировались дубликаты проб в лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск).

Была проведена статистическая обработка данных и построение карт, схем, графиков.

3. Экогеохимические последствия ртутного загрязнения территорий Сибири и Дальнего Востока

Множество работ посвящено исследованию ртути на территории Сибири и Дальнего Востока в разных средах: растительности, снежном покрове, донных отложениях, почвах, торфах, организме человека, животных и тд. (Аношин, 1995; 2010; Седых, 2002; Рихванов, 2011, 2020 ; Барановская, 2011; Бутаков, 2012; Ляпина, 2012; Страховенко, 2012; Таловская, 2012; Арбузов, 2015; Морозова, 2015; Лисецкая, 2016; Моисеенко 2016; Межибор, 2017; Боев, 2017; Гребенщикова, 2017; Юсупов, 2018; Осипова, 2018; Жданок, 2019; Захарченко, 2020; Дериглазова, 2020 и др.).

Основными природными источниками ртути на территории Сибири являются ртутные и ртутьсодержащие месторождения, испарения из естественных водоемов и эманация ртути из недр земли. Ртутные месторождения сконцентрированы в трех рудных провинциях: Алтае-Саянской, Забайкальской и Верхояно-Колымской (рисунок 3.1).

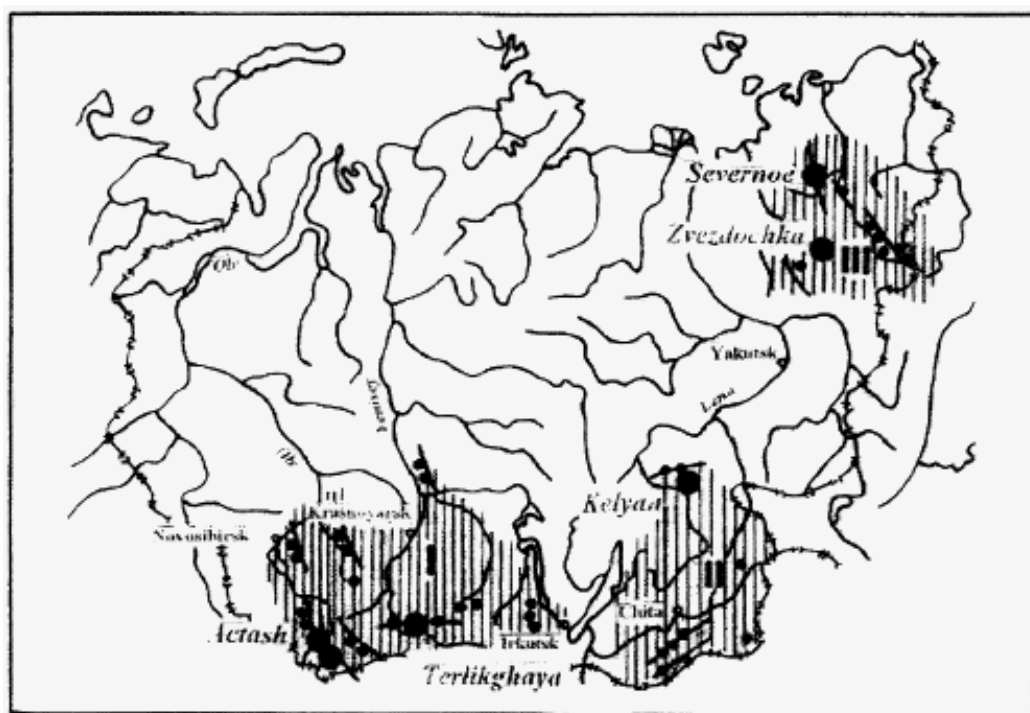


Рисунок 3.1 - Размещение ртутных месторождений над Сибирью: I, Алтае-Саянское; II, Забайкальское; III, Верхнее Яна-Колымское (Vasiliev, 1998)

Примечание: Черные точки -месторождения ртути и рудопроявления

Кроме природных источников ртутного загрязнения окружающей среды, на территории Сибири достаточно и антропогенных источников. Предприятия цветной металлургии производят металлическую ртуть из ртутных руд и ртутьсодержащих продуктов (Кузубова, 2000). Химическая промышленность использует токсичный элемент в производственном процессе. К основным потребителям ртути относят заводы по производству каустической соды и хлора, предприятия занимающиеся переработкой и добычей, ТЭЦ, отходы, производство ртутьсодержащих ламп (Ртутное загрязнение в России...).

Первое место по вкладу в загрязнение окружающей среды Сибири от антропогенных источников вносит химическое производство (Yagolnitsner, 1995, 1996). Примером таких загрязнений служат «Усольехимпром» (Усолье-Сибирское), «Химпром» (Павлодарская область). В Павлодарской области «Химпром» введен в эксплуатацию в 1975 г. и остановлен в 1994 г. Общий объем потребления металлической ртути оценивается в 1200 т. Загрязнение окружающей среды происходило из выбросов в атмосферу, сточные воды, систему вентиляции, демонтированным оборудованием (Vasiliev, 1998).

Современные процессы выветривания и почвообразования в биосфере способствуют аккумулярованию ртути в результате взаимодействия соединений ртути с гуминовыми кислотами и минеральными компонентами (глинистые минералы, гидроксиды алюминия и железа) и захватом биомассой микроорганизмов (Ермаков, 2010).

Донные отложения и вода. С атмосферными выпадениями ртуть попадает в почву, мигрируя поступает в водные объекты. При попадании в воду, элемент под воздействием микроорганизмов образует токсичные органические соединения ртути, которые накапливаются в донных отложениях.

Донные отложения представляют собой различные минеральные вещества, отложившиеся в результате биологических, физических и химических процессов на дне океанов, морей, озёр, рек и других различных водоёмах (Кизицкий, 2000). Данный вид объектов исследования считается информативным, с связи

возможностью исследования вертикального распределения элемента в толще донных отложений, что позволяет выделить периоды интенсивного поступления поллютанта в окружающую среду (Химическая энциклопедия, 1990.). Содержания токсичного элемента в воде, на 3-4 порядка ниже, чем в донных отложениях. Благодаря гранулометрическому составу, донные отложения способны концентрировать и удерживать микроэлементы (Даувальтер, 2012).

Ртуть в донных отложениях (Гелетий, 2005; Китаев, 2008; Страховенко, 2011; Юсупов, 2013; Валерьева, 2014; Морозова, 2015; Иванов, 2016, 2018; Густайтис, 2017; Густайтис, 2019; Кастина, 2019; Таций, 2020) и воде (Лапердина, 2000; Лавров, 2000; Коваль, 2003; Колоколова, 2003; Ен, 2018; Смоликова, 2018; Safonov, 2019; Гребенщикова, 2020; Roberts, 2020) на территории Сибири и Дальнего Востока исследовалась многими авторами.

Содержания токсичного элемента в донных отложениях оз. Байкал колеблется от 7 до 64 мкг/кг, что соответствует средним уровням содержания элемента для континентальных озер Сибири (Страховенко, 2010; Пастухов, 2012). Концентрации метилртути в разных районах оз. Байкал достигают 2,18 мкг/кг сухого веса, с максимальным содержанием в районе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (Отчет о научно-исследовательской работе, 2015).

Согласно исследованию М.А. Густайтис (2017), в верхнем течении р.Ур, донные отложения имеют достаточно высокие концентрации ртути, что объясняется нахождением исследованной территории в зоне влияния Урского рудного поля (Кемеровская область). Местами концентрации токсичного элемента достигают 1,64 мкг/г, что в общем имеет негативные последствия для окружающей среды и здоровья населения.

В донных отложениях озер Томской области идет четкое возрастание концентраций ртути с глубины 10 см, что обусловлено резкой сменой экогеохимической обстановки. Возможно влияние Сибирского химического комбината (г. Северск) и работы угольных ТЭЦ с 1956г (Иванов, 2016).

По геохимическому исследованию воды, можно получить данные не только указывающие на экологическую обстановку исследуемой территории, но и

получить отклики на геодинамические воздействия (Гребенщикова, 2020) (рисунок 3.2). При мощном геодинамическом воздействии концентрации ртути повышаются, что связано с движением глубинных разломов, приводящим к дегазации и подъему на поверхность по разломам элемента.

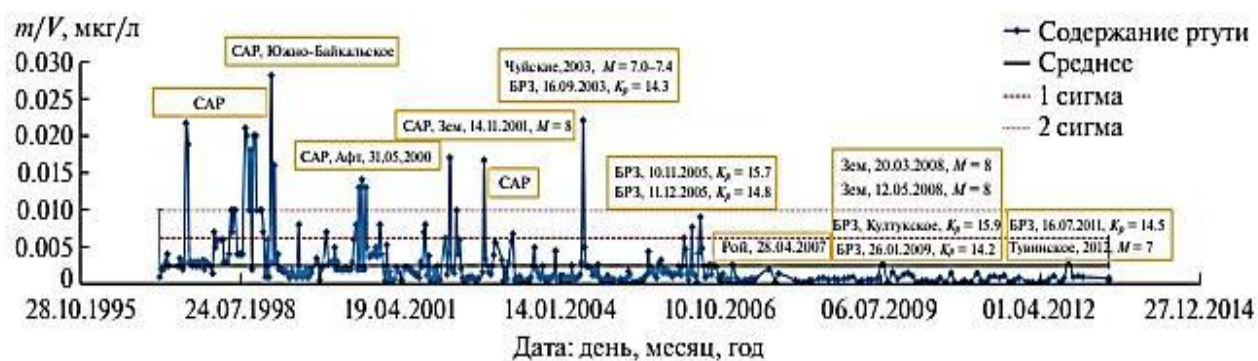


Рисунок 3.2- Возможные источники геодинамических воздействий, сформировавших значимые максимумы содержания ртути в воде истока р. Ангара. (Гребенщикова, 2020)

Снежный покров. С конца прошлого века взвешенные частицы включены в число загрязняющих веществ, рассматриваемых в рамках «Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния» Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) (Голохваст, 2012; Макрова, 2016). Атмосферный аэрозоль с содержанием ртути образуется в результате деятельности промышленных предприятий. Осаждаясь, поллютант скапливается в снежном покрове, взаимодействуя с окружающей средой. Особую опасность представляют твердые невидимые дисперсные частицы и ртуть, которые способны проникать в организм человека и оказывать негативное воздействие на здоровье. Благодаря своим маленьким размерам, частицы могут проникать через кожный покров внутрь клеток.

По данным В.И. Гребенщиковой (2013), в пробах снеговой воды, отобранной возле Цеха ртутного электролиза «Усольехимпром» г.Усолье-Сибирское концентрации ртути и других химических элементов (Si, B) в 50-400

раз больше, чем фоновые. За пределами промплощадки средняя концентрация токсичного элемента составила 0,0009-0,0080 мкг/дм³.

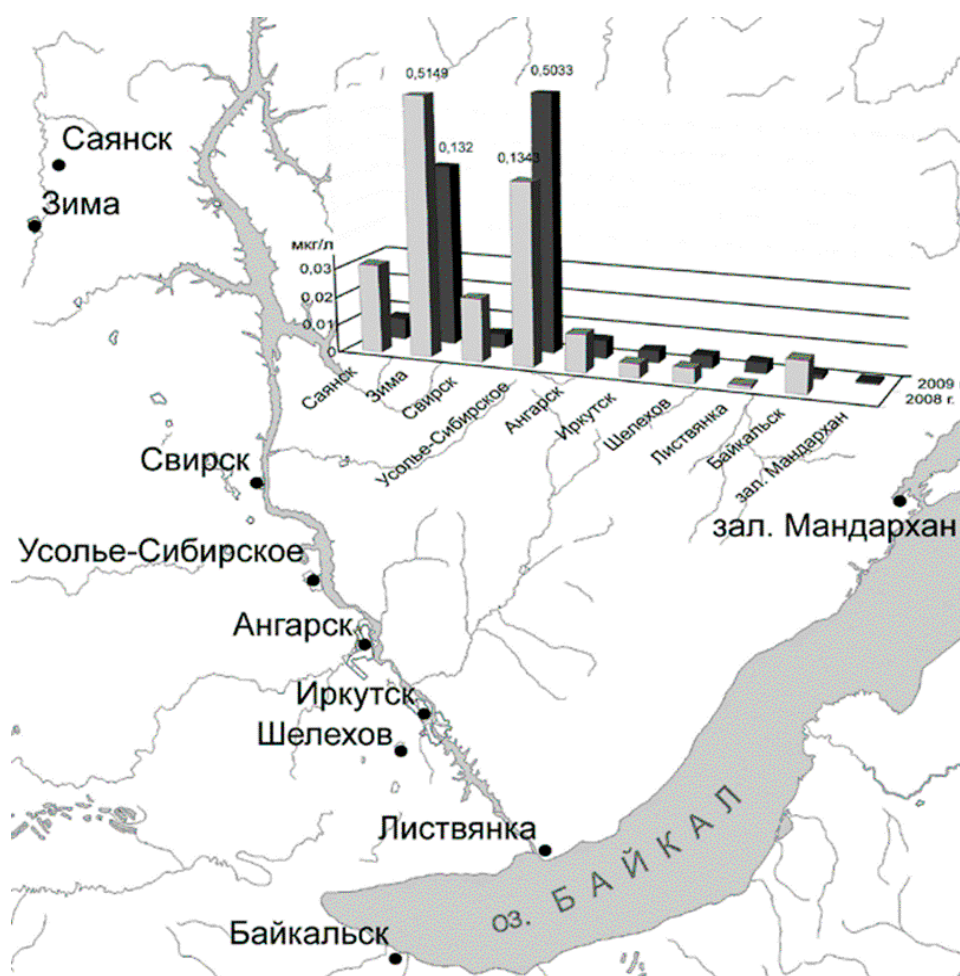


Рисунок 3.3 - Максимальное содержание ртути (мкг/дм³) в снеговой воде в 2008-2009 гг. в городах и поселках на территории Прибайкалья (Гребенщикова, 2013)

Максимальная концентрация составляет 0,0424 мкг/дм³ и приходится на территорию на въезде из города, что обусловлено ветровым переносом. Также повышенные содержания ртути отмечаются и в другом городе Иркутской области г. Зима («Саянскхимпласт») (рисунок 3.3).

По данным ряда исследований, содержания ртути в снежном покрове Средней котловины оз. Байкал, превышает ПДК в 3 раза (Белозерцева, 2017).

Кызыл характеризуется повышенными содержаниями ряда загрязняющих веществ, в том числе и ртуть, в зимний период, т. к. присутствует много сезонных

источников (большой объем топлива расходуется в холодный сезон) (Тас-оол, 2016).

В г.Томске снеговой покров обогащен ртутью в зоне влияния теплоэнергетики и нефтехимического комбината (Таловская, 2014).

Исследования ртути в снеговом покрове на территории Сибири и Дальнего Востока встречается у многих авторов: Лавров, 1991; Королева, 1998; Давыдова, 2002; Королева, 2003; Скворцов, 2010; Гребенщикова, 2013; Таловская, 2014; Тас-оол, 2016; Белозерцева, 2018; Камардина, 2018; Малов, 2020 и др.

Почва. Данный вид объекта исследования часто используется для определения ртутной нагрузки на территории Сибири и Дальнего Востока (Мальгин, 1995; Леонова, 2002; Маликова, 2008; Щербов, 2008; Жорняк, 2009; Ляпина, 2009, 2021; Гордеева, 2012; Владимиров, 2012; Робертус, 2015; Рождественская, 2016; Пастухов, 2019).

Согласно исследованиям М.В. Пастухова (2019), в зоне влияния химического производства отмечаются повышенные концентрации ртути в почве даже после его ликвидации.

В Алтайском крае присутствует как природное (Сарасинская ртутная зона и Курьинский район), так и антропогенное (Алтайский горно-обогатительный комбинат и Змеиногорская золотоизвлекательная фабрика) (Бабошкина, 2007) загрязнение ртутью. Повышенные содержания ртути отмечаются рядом авторов (Леонова, 2002; Маликова, 2008) в почвах у оз. Большое Яровое.

Влияние Курайской ртутной зоны и Акташского (Робертус, 2015), Чаган-Узунского месторождений сказывается на содержании ртути во всех биологических объектах, включая почву. Превышение концентраций элемента над фоновыми значениями в 1,5 и более раз отмечается в исследованиях И.Н. Маликовой (2008).

Растения. Экогеохимические исследования ртути при помощи растений нашли широкое применение при исследований экологического состояния территории Сибири (Маликова, 2008; Ляпина, 2009; Кашин, 2009; Рогова, 2011; Гусев, 2012; Гордеева, 2012; Густайтис, 2016; Максимова, 2016; Рапута, 2017;

Юсупов, 2018; Сысо, 2018; Робертус, 2018; Пахорукова, 2019; Барановская, 2020 и др.). В исследованиях участвуют высшие растения (мхи, лишайники и тд.) (Ляпина, 2009; Азовский, 2010; Страховенко, 2012; Исупова, 2016; Межибор, 2017; Якубович, 2018), древесные растения (тополь, береза, сосна и тд.) (Игнатъева, 2005; Ляпина, 2009; Юсупов, 2018; Рихванов, 2020;).

По данным Е.Е. Ляпиной (2012), в эпигейных лишайниках произрастающих на территории Томской области концентрации ртути варьируются от 35 до 95 нг/г. Средняя концентрация во мхах колеблется в пределах 28-78 нг/г. Дендрогеохимический анализ показал четкое увеличение токсичного элемента к XX веку.

Таблица 3.1 - Концентрация ртути в древесных растениях, произрастающих на территории ООО «Усольехимпром» и в окрестностях Усолья-Сибирского (сухая масса), мг/кг (Гордеева, 2012)

Вид растения		Среднее	Минимальное	Максимальное
Территория «Усольехимпром»				
Береза <i>Betula pendula L.</i>	листья, n=7	0,032	0,023	0,060
	ветви, n=6	0,013	0,008	0,019
Ива <i>Salix alba L., S. caprea L.</i>	листья, n=6	0,034	0,016	0,072
	ветви, n=4	0,010	0,007	0,016
Окрестности Усолья-Сибирского				
Береза <i>Betula pendula L.</i>	листья, n=4	0,029	0,014	0,066
	ветви, n=3	0,007	0,005	0,008

О.Н. Гордеева (2012) отмечала повышенное накопление ртути на загрязненных территориях. По таблице 3.1 видно, что ветви деревьев накапливают меньше ртути, чем листья. Данное явление связано со способностью листьев накапливать ртуть из атмосферно воздуха. Кроме древесных растений были проанализированы и травянистые. Среди исследованных растений были и лекарственные (герань луговая, тысячелистник обыкновенный), где обнаружены повышенные содержания ртути, что доказывает нежелательность использования

лекарственных растений произрастающих в зонах влияния химических предприятий.

Таким образом, проведенный анализ литературных источников позволит в дальнейшем провести аналогию с полученными данными по содержанию ртути в листьях и годичных кольцах деревьев рода тополь описанными ниже.

4. Характер накопления ртути в листьях древесных растений рода тополь

Был также проведен ряд натуральных опытов направленных на изучение изменений концентраций ртути в листьях тополя в зависимости от определенных факторов, а именно: высоты кроны, вида тополя и времени отбора проб. Подобные эксперименты помогают получить фундаментальные знания о варьировании концентраций в растениях в пространстве и времени.

Различные методические эксперименты были проведены ранее рядом авторов исследующих геохимические особенности различных химических элементов, в том числе и ртуть.

В.П. Зволинский (2015) исследовал распределение общей ртути по площади листа тополя черного (*P. nigra L.*) и сезонное накопление на условно-чистой и загрязненной территориях. Результаты указывают на направленное перераспределение концентрации ртути от кромки листа к побегам. Максимальное значение обнаружено у верхушки листа, минимальное - у основания.

Исследования по варьированию валовых концентраций кальция и свинца в листьях дуба каменного (*Quercus ilex*) в зависимости от сезона отбора проб, вида дерева, стороны кроны и разного расположения на ветвях описаны в работе Р. Баргальи (1998).

При анализе трех видов деревьев, с разными морфологическими особенностями листьев, наблюдается различия в содержании поллютантов. Так в листьях груши, с гладкой листовой пластиной, задерживается меньше всего загрязняющих веществ, тогда как жесткие и опушенные листья яблонь способствуют удержанию поллютантов (Deu, 1993).

По данным Ю.Э Аксеновой (2017), исследовавшей геохимический состав мытых и немых листьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera L.*), в немых пробах концентрации ртути в 1,1-1,5 выше, чем в мытых. Листья отмывались от пыли проточной, а за затем и дистиллированной водой и сушились при комнатной температуре. Результаты различий в исследуемых образцах показаны на рисунке 4.1.

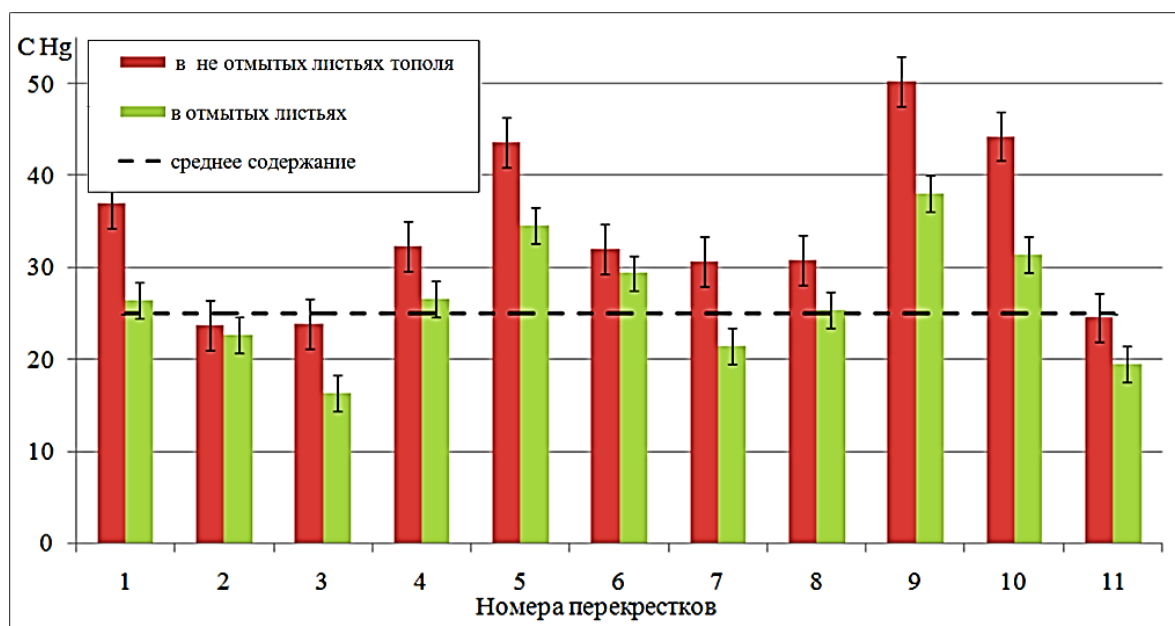


Рисунок 4.1 – Различия содержаний ртути (нг/г) между отмытыми и не отмытыми листьями тополя бальзамического (*Populus balsamifera L.*) отобранными на загруженных автомобильных перекрестках г. Томска (Аксенова, 2017)

4.1 Распределение ртути по высоте кроны тополя

Для первого опыта, в сентябре 2017 года в г. Новосибирск, при помощи автовышки, был проведен отбор проб с отдельно стоящего дерева произрастающего в непосредственной близости от источника загрязнения. Целью исследования служило определение характера распределения содержания ртути в сухой массе листьев тополя бальзамического (*P. balsamifera L.*) по высоте кроны дерева и ориентации относительно источника загрязнения. Пробы были отобраны на высоте от 2 до 15 метров, с интервалом 1 метр, с западной и восточной стороны кроны тополя. Всего отобрано 28 образцов листьев, по 14 с каждой стороны.

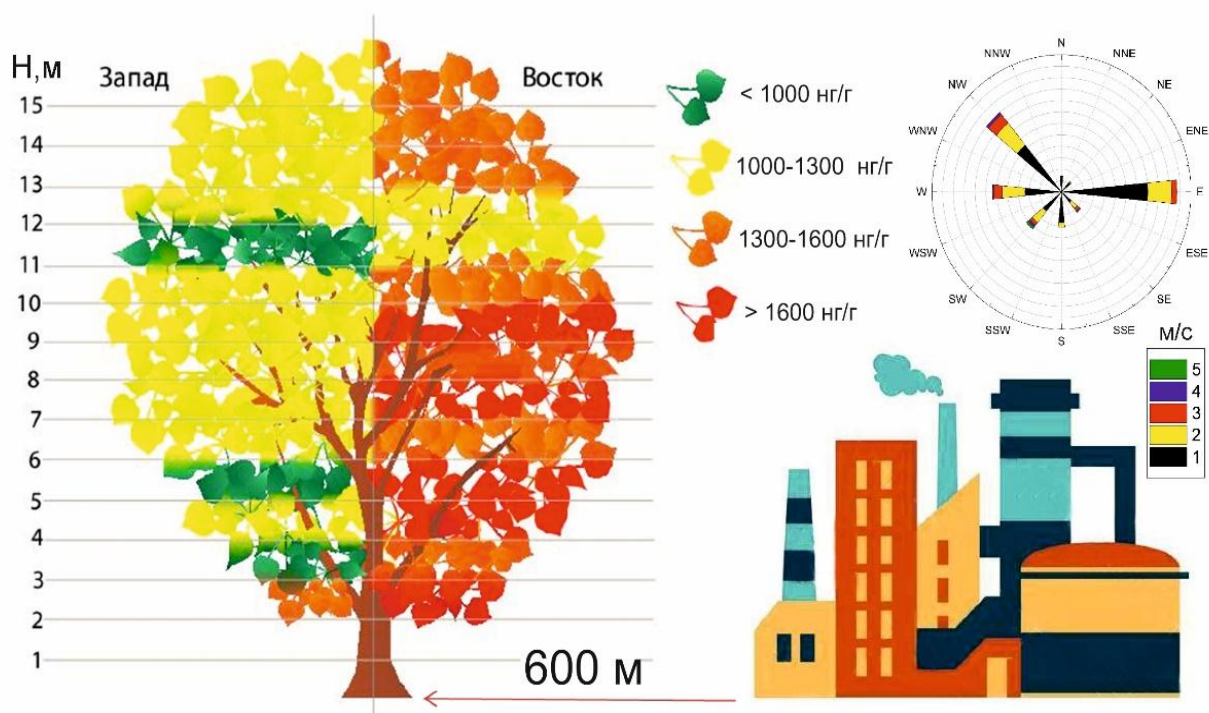


Рисунок 4.1.1 –Распределение концентрации ртути в сухой массе листьев по высоте кроны тополя бальзамического (*P. balsamifera* L.) вблизи предприятия ядерно-топливного цикла (нг/г)

Примечание: Правый верхний угол – летняя роза ветров (2017)

В ходе проведенного анализа, выявлено превышение концентрация ртути в пробах листьев тополя бальзамического (*P. balsamifera* L.) в среднем в 1,5 раза с западной (наветренной) стороны кроны, чем с восточной (подветренной), что объясняется расположением источника загрязнения в восточной стороне от опробованного дерева (рисунок 4.1.1). Следует отметить, что на высоте 2-3 м. (рекомендованная высота отбора проб) содержания с обеих сторон отличаются в 1,5 раза. Однако, с западной стороны присутствуют «полосы» с концентрацией ртути ниже 1000 нг/г. В общем и целом, концентрации ртути с западной стороны не превышают 1300 нг/г (кроме «полосы» на высоте 2-3 м.), в то время как на восточной стороне концентрации доходят до 1600 нг/г. Результаты эксперимента выявили уменьшение накопления ртути кроной тополя с высотой, что подтверждает роль подстилающей поверхности в качестве вторичного источника поллютанта в листе.

Таблица 4.1.1 – Концентрации ртути и ее формы на территории Калининского района в 4 объектах исследования

№ пробы	Материал	Расстояние от техногенного источника загрязнения, м	С.ср, нг/г	Преоблад. форма ртути
T1	Листья	700	558	-
	Опад		1153	свободная
	Год.кольца		32	-
	Почва		97	Физ-связ.
T2	Листья	600	1562	-
	Опад		1952	-
	Год.кольца		94	-
	Почва		281	свободная
T3	Листья	480	1196	-
	Опад		2486	свободная
	Год.кольца		220	-
	Почва		508	свободная
T4	Листья	800	-	-
	Опад		597	свободная
	Год.кольца		52	-
	Почва		74	-

Исследования показывают прямую значимую связь между содержанием элемента в почве и древесных объектах. В точке, находящейся в 480 метрах от предполагаемого источника ртутного загрязнения, средние концентрации в опаде, годовых кольцах и почве значительно выше (таблица 4.1.1) чем в других точках. Низкие концентрации в точке 4 объясняются расположением ее к юго-западу от источника и летней розы ветров.

4.2 Видовая специфика концентрирования ртути в сухой массе листьев деревьев рода тополь

Для рассмотрения возможности применения разных видов тополя для исследования проводился отбор проб с близко расположенных деревьев разного вида, а именно с тополя бальзамического (*P. balsamifera* L.), тополя черного (*P.*

nigra L.) и тополя белого (*P. alba* L.). Видовая специфика играет важную роль в удержании загрязняющих частиц. На гладких листьях с восковым покрытием задерживается меньше поллютантов, чем на листьях с опушкой, либо стареющих (Deu, 1993; Bargagli, 1998). На концентрацию загрязняющих веществ влияет также площадь листовой пластины. Согласно исследованиям F. Monad (1995), в жестких опушенных листьях дуба с большой площадью листовой пластины, расположенных горизонтально накапливается больше загрязняющих веществ, чем в гладких, мелких листьях каперсов, растущих вертикально.

В августе 2016 года, на территории Университетской рощи Томского Государственного университета (г. Томск) был проведен одновременный отбор проб с разных видов тополя. Листья с тополя черного и бальзамического отбирались согласно методическим рекомендациям, на высоте 1-2 метра от поверхности земли. В связи с отсутствием на рекомендованной высоте веток у тополя белого (*P. alba* L.), листья отбирались при помощи телескопического секатора на высоте 3-4 метра от земли. Все пробы были отобраны с близко расположенных деревьев каждого вида, в трех повторностях.

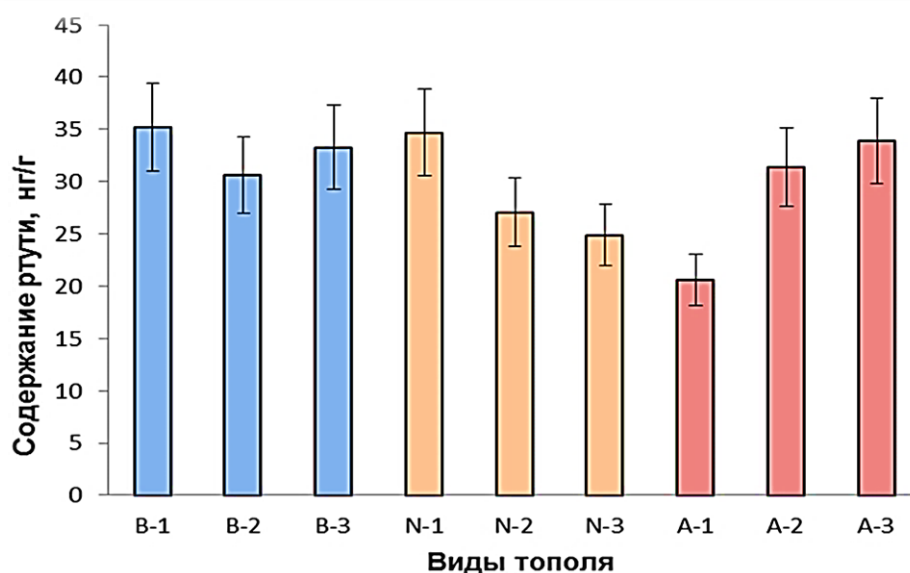


Рисунок 4.2.1 – Содержание ртути в сухой массе листьев тополя в различных видах тополя на территории Университетской рощи в г. Томске

Примечание: B- тополь бальзамический (*P. balsamifera* L.), N- тополь черный (*P. nigra* L.), A- тополь белый (*P. alba* L.)

Содержания ртути в листьях тополя бальзамического (*P. balsamifera L.*) и черного (*P. nigra L.*) находятся примерно на одном уровне с разницей в пределах аналитической ошибки, тогда как в листьях тополя белого (*P. alba L.*) оно в среднем в 1,3 раза ниже (рисунок 4.2.1.). Исходя из результатов выше описанного эксперимента, можно сделать вывод о том, что использование разных видов тополя при одновременном опробовании на ртуть допустимо без введения поправочных коэффициентов, но при обязательном соблюдении равных условий пробоотбора. Интенсивная опушенность белого тополя (*P. alba L.*) создает неудобства при анализе, что могло сказаться на различиях в результатах по сравнению с другими видами. Также, на разницу в результатах могла повлиять разница в высоте отбора проб которая обсуждалась в исследовании по распределению ртути по высоте кроны описанного в подглаве 4.1.

4.3 Влияние вегетационного периода на содержание ртути в листьях деревьев рода тополь

Для следующего эксперимента, показывающего зависимость концентраций ртути в листьях тополя от месяца отбора, было проведено опробование в течение всего вегетационного периода на двух участках разных территорий.

Первый отбор проб проводился в г. Томск на территории Лагерного сада в течении 4 месяцев (июнь-сентябрь). Территория опробывания расположена на въезде в город, в начале проспекта Ленина вблизи одной из основных автомагистралей и подвержена влиянию выбросов автотранспорта.

Результаты показали четкую тенденцию к увеличению концентрации ртути от начала вегетационного периода к его концу у деревьев, произрастающих на территории г.Томска (рисунок 4.3.1.).

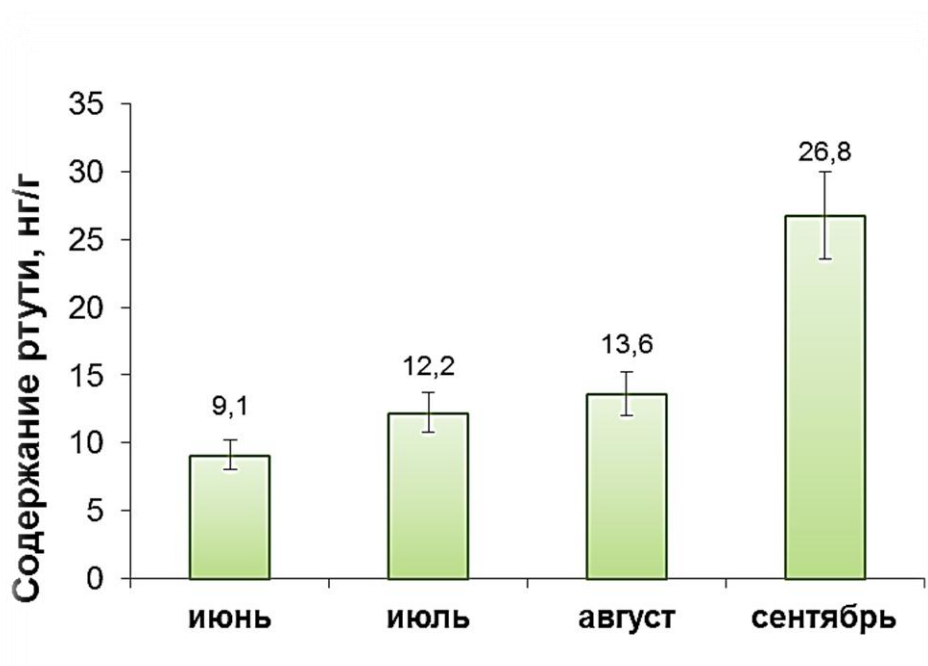


Рисунок 4.3.1 – Изменение концентрации ртути в сухой массе листьев тополя в течении сезона (г.Томск)

Содержания ртути резко возрастает в 2 раза с августа по сентябрь в связи с замиранием жизненных процессов и концентрированием элемента.

Вегетационный период у большей части деревьев начинается при наступлении плюсовой температуры в весенний период в дневное время. В переходный весенний период корни деревьев только начинают заново расти, однако наземная часть уже активна. В крону начинают поступать тепло и влага, что положительно влияет на развития дерева в период вегетации и созревание плодов. Собственно, сам вегетационный период, который на большей территории России длится с мая по сентябрь включительно, является самым длительным периодом. У деревьев вегетация – время активной жизнедеятельности, которое характеризуется началом движения соков, распусканием почек, вплоть до сбрасывания листьев. В данное время растение активно развивается, происходит образование небольших побегов, распускание почек, появление бутонов, цветение, плодоношение, образование семян. В середине вегетационного периода рост дерева уже не такой активный. Однако листья продолжают

функционировать, поэтому в растении и плодах накапливается крахмал, побеги дерева покрываются древесиной, корневая система становится менее активна.

В переходный осенний период завершается покрытие древесиной побегов дерева. Крахмал, накопленный во всех частях растения, превращается в сахар, обеспечивая устойчивость растения во время зимы. В течение всего периода идет активный рост мелких всасывающих корней, который растут до самых морозов (Все о вегетационном периоде растений...).

Вторая территория для проведения исследования находилась в г. Новосибирск вблизи предполагаемого источника ртутного загрязнения, предприятия ядерно-топливного цикла. Результаты эксперимента по изучению динамики содержания ртути в течение летне-осеннего периода 2017 г. показали такую-же четкую тенденцию к увеличению концентрации элемента, как и в г.Томск (рисунок 4.3.2).

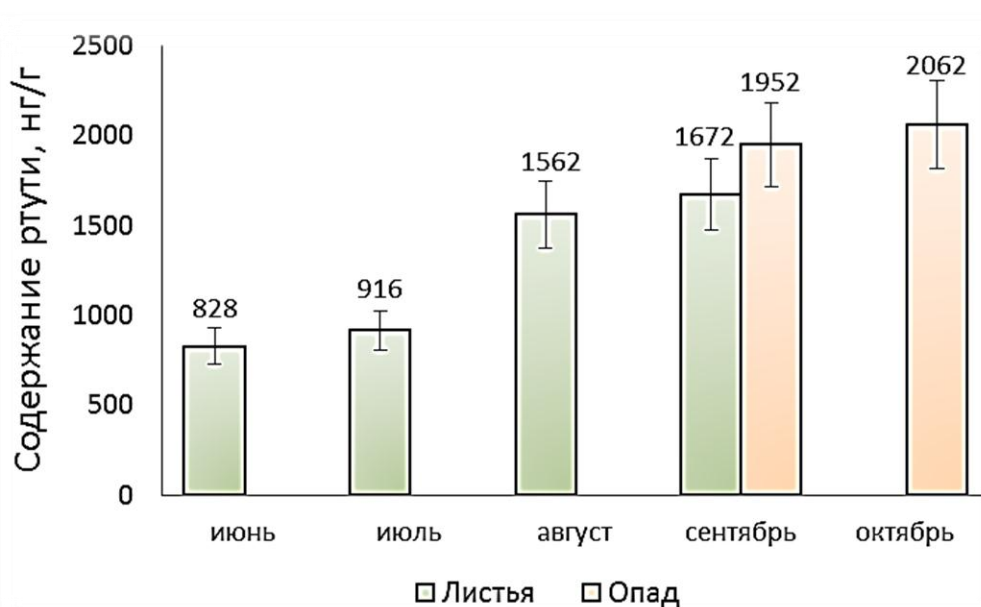


Рисунок 4.3.2 – Изменение концентрации ртути в листьях и опаде тополя в течение вегетационного периода на территории Калининского района (г. Новосибирск)

Самое низкое содержание выявлено в пробах, отобранных в конце июня (601 нг/г), к концу вегетационного периода (сентябрь) содержание ртути увеличилось в 3,2 раза и составило 1938 нг/г в пожелтевших листьях,

максимальное значение обнаружилось в листовом опаде - 2425 нг/г, собранном в октябре. что объясняется потерей влаги листьями и, как следствие, концентрированием ртути.

Концентрация ртути в опаде анализировалась и другими авторами, в том числе для фоновых территорий. Примером служит работа по определению ртути в листовом опаде на территории Тюменского федерального заказника, где также показана разница в содержаниях токсичного элемента в зависимости от видовой специфики древесных растений (Боев, 2018).

Валовое содержание отражает общее поступление и накопление элемента листьями и древесиной тополя. Однако наибольший интерес и опасность представляют формы нахождения ртути в компонентах окружающей среды. Поскольку именно формы нахождения ртути определяют степень ее токсичности и негативного воздействия на атмосферный воздух, почву, поверхностные и подземные воды, биоту и человека. В исследованных пробах листьев, опада и почв в точках опробования ртуть присутствует преимущественно в свободной форме (Hg^0), а также в физически и химически связанной.

Было выявлено, что свободная форма (Hg^0) (таблица 4.1.1.) является преобладающей в зоне выявленной территории ртутного загрязнения и составляет от 4 до 100 % в исследованных пробах листьев, листового опада и почвы. При этом следует отметить, что ртуть в газообразной форме обнаружена в 83 % проб листьев в результате площадной оценки ртутной нагрузки на территории повышенного содержания. При оценке поступления разных соединений ртути в листовую пластину в зависимости от расположения дерева относительно источника свободная форма также отмечается в 83 % случаев, особенно с той стороны дерева, которая развернута от источника. В листьях тополя с той стороны кроны дерева, которая развернута к источнику, ртуть присутствует как в атомарном состоянии, так и в физически связанном с пылеаэрозольными частицами (рисунок 4.3.3). В листовом опаде и пробах почв в зоне высоких содержаний элемента также в основном присутствует в виде Hg^0 (83–100 %).

Физически связанная форма в качестве преобладающей во всех изученных пробах встречается реже (HgCl_2). Кроме того, большинство исследованных проб листьев, опада, почв характеризуются присутствием в основном двух форм ртути – свободной и физически связанной (таблица 4.1.1.). Данные соединения являются наиболее способными к миграции и трансформации, а, следовательно, наиболее опасными с точки зрения геоэкологии. Стоит отметить также присутствие сульфидной (12 %) и изоморфной (7–9 %) форм ртути в листьях тополя. Данные соединения относятся к наиболее устойчивым в природной среде, но источник их поступления антропогенный.

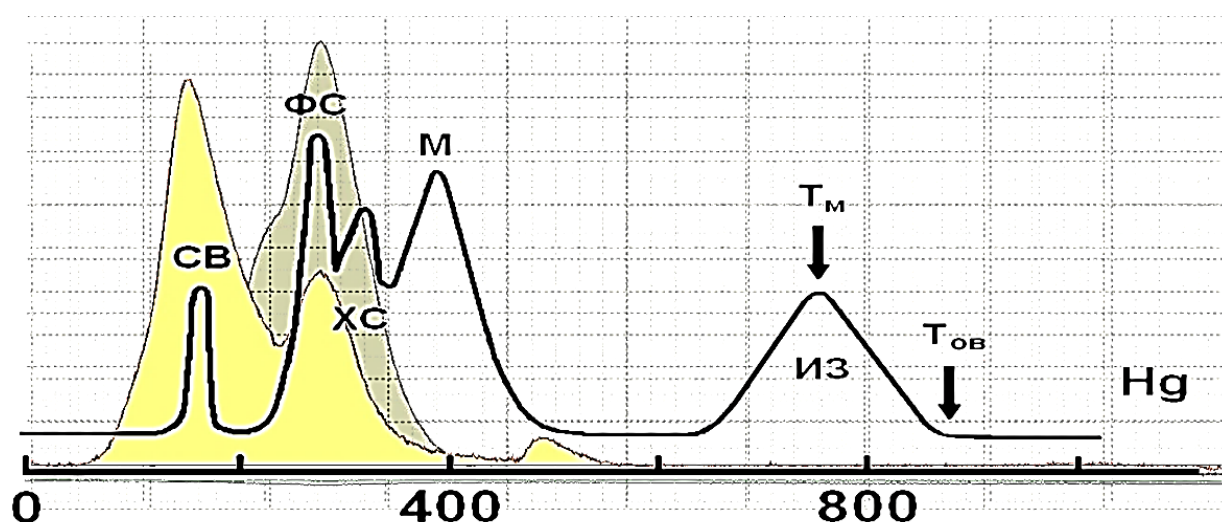


Рисунок 4.3.3 – Схема распределения форм ртути (по В.Л. Таусону, 2000) в пробах листьев тополя

Условные обозначения форм Hg: СВ – свободная, ФС – физически связанная, ХС – химически связанная, М – сульфидная, ИЗ – изоморфная

Лишь некоторые точки характеризуются присутствием всех форм ртути в исследованных пробах. В пространстве данные точки расположены в центральной части выявленного очага ртутного загрязнения, а также в его северо-восточной и северо-западной частях.

Поступление разных форм ртути в листовую пластину с высотой характеризуется общим соотношением – свободная, затем физически и химически

связанная формы. Однако с наветренной стороны кроны на высотах 5 и 15 м поллютант присутствует в основном в физически связанной форме.

Кроме того, формы ртути в листовой пластине тополя в течение всего вегетационного периода подвергаются изменению. В пробах, отобранных в июне, преобладает физически связанная форма (до 67 %), также присутствует свободная форма (до 32 %) и менее 1 % приходится на химически связанную и сульфидную формы ртути. В конце вегетационного периода первые две формы меняются местами.

Почвы этого города характеризуются неравномерным характером концентрирования ртути, с содержанием в отдельных точках до 295 нг/г. Что касается соединений ртути, то почвы характеризуются присутствием четырех форм: свободная, физически и химически связанная, а также изоморфная. Преобладающей является свободная форма. Это значит, что почвы в очаге повышенного содержания могут выступать в качестве вторичного источника поступления ртути в растения и атмосферный воздух.

В целом, наши эксперименты, направленные на изучение изменения концентраций ртути в зависимости от высоты отбора пробы и ориентации относительно источника загрязнения, видовой специфики листьев рода тополь, содержание ртути в листьях тополя в разный период вегетации и определение форм токсичного элемента. Результаты показали что, увеличение содержания ртути в пробах листьев происходит к концу вегетации, что объясняется физиологическими особенностями дерева и накопительным эффектом.

Содержание ртути в 1.5 раз выше с наветренной стороны кроны тополя (восточной), чем с подветренной (западной) что объясняется расположением источника загрязнения к востоку от опробованного дерева. На высоте 2-3 метра концентрации ртути имеют незначительные отличия.

Изучено влияние видовой специфики на концентрирование ртути в листьях деревьев рода тополь. Высокие содержания ртути отмечаются в жестких, широкий листьях с восковым покрытие (Bargagli, 1998), тогда как в листья с низким восковым покрытием и опушенностью, концентрации ниже. Следует

отметить, что в литературных данных (Bargagli, 1998) опушность способствует лучшему удержанию загрязняющих частичек на поверхности листа

Преобладающей формой ртути в исследованных наших пробах является свободная форма. Подобная форма ртути наиболее способна к миграции и трансформации и опасна для окружающей среды и здоровья населения, что является важным аспектом в изучении экологии регионов.

Исходя из результатов проведенных нами исследований и работами других авторов, для анализа целесообразно использовать листья разных видов деревьев, но со схожими морфологическими особенностями, отобранными в период наивысшей физиологической активности на высоте 1-2 метра от уровня подстилающей поверхности. Кроме того, в экологических исследованиях следует использоваться немые пробы листьев.

5. Эколого-геохимическая оценка ртутной нагрузки на урбанизированные территории Сибири и Дальнего Востока по результатам изучения листьев тополя

В ходе проведенного исследования была определена ртутная нагрузка на 39 урбанизированных территориях Сибири и некоторых отдельных городах Дальнего Востока при помощи листьев и керна тополя. Результаты ртутного анализа по листьям тополя указывают на наличие повышенных концентраций на данных территориях (таблица 5.1). При статистической обработке, было рассчитано среднее содержание ртути в сухой массе листьев деревьев рода тополь, которое составило $25 \pm 2,9$ нг/г (медиана 23 нг/г). При расчете среднего содержания ртути по всей выборке не учитывались данные, полученные в ходе анализа листьев отобранных в пос. Акташ (Республика Алтай), г. Яровое, г. Славгород (Алтайский край), г. Шелехов, г. Зима, г. Усолье-Сибирское, г. Саянск (Иркутская обл.), г. Новосибирск, содержание химического элемента в которых было аномально высоким.

Таблица 5.1 – Среднее содержание ртути в сухой массе листьев тополя (нг/г) на урбанизированных территориях Сибири и Дальнего Востока

Исследуемая территория	Территориальное расположение	Население, тыс. чел. (2020)	Содержание ртути, нг/г
пос. Акташ с рудником	Республика Алтай	2,4	246,4±85,0
г. Асино	Томская область	24,1	24,8±1,2
г. Колпашево	Томская область	23,2	20,2±2,6
г. Краснокаменск	Забайкальский край	52,8	31,7±1,5
г. Междуреченск	Кемеровская область	96,2	28,2±3,8
г. Мыски (округ)	Кемеровская область	41,0	21,6±1,4
г. Новоалтайск	Алтайский край	73,7	25,9±2,3
г. Саяногорск	Республика Хакасия	47,4	14,3±0,8
г. Славгород	Алтайский край	29,4	41,0±5,4
г. Сорск	Республика Хакасия	11,4	15,5±0,7
г. Стрежевой	Томская область	41,9	21,3±1,2
г. Тобольск	Тюменская область	98,9	19,4±1,1
г. Черемхово	Иркутская область	50,2	10,2±1,7

Продолжение таблицы № 5.1

г. Черногорск	Республика Хакасия	75,1	19,9±0,8
пос. Усть-Баргузин	Республика Бурятия	7,1	22,8±0,5
г. Шелехов	Иркутская область	48,4	70,0±22,1
г. Свирск	Иркутская область	12,7	13,9±1,8
г. Зима	Иркутская область	30,5	55,8±14,1
г. Саянск	Иркутская область	38,8	46,4±8,6
г. Усолье-Сибирское	Иркутская область	76,0	53,2±15,4
г. Яровое	Алтайский край	18,1	43,6±8,3
г. Абакан	Республика Хакасия	186,8	21,7±1,5
г. Ангарск	Иркутская область	224,6	19,6±1,9
г. Ачинск	Красноярский край	105,3	18,6±1,0
г. Северск	Томская область	107,5	34,3±2,7
г. Улан-Удэ	Республика Бурятия	439,1	18,2±0,8
г. Чита	Забайкальский край	351,8	18,3±0,9
г. Якутск	Республика Саха (Якутия)	322,9	12,4±1,9
г. Кызыл	Республика Тыва	119,4	14,9
г. Барнаул	Алтайский край	632,4	32,8±2,1
г. Иркутск	Иркутская область	623,5	22,5±1,3
г. Кемерово	Кемеровская область	556,4	17,2±1,2
г. Новокузнецк	Кемеровская область	552,1	26,8±1,3
г. Томск	Томская область	576,2	20,6±1,1
Томская агломерация	Томская область	786,7	23,7±1,2
г. Тюмень	Тюменская область	807,4	22,3±0,7
Иркутская агломерация	Иркутская область	1083,9	30,4±4,0
г. Красноярск	Красноярский край	1093,7	26,5±1,1
Кузбасская агломерация	Кемеровская область	1302,6	27,2±1,9
г. Новосибирск	Новосибирская область	1625,6	56,0±12,6
г. Омск	Омская область.	1154,5	28,6±1,7

Примечание: красным выделены территории, где среднее значение концентрации ртути по исследуемой территории превышает её среднее

Города и агломерации, где численность населения более 1 миллиона человек характеризуется повышенными концентрациями ртути в связи с развитой

промышленной структурой, транспортной нагрузкой и тд. Большое количество территорий с превышениями содержаний ртути отмечены и в населенных пунктах с населением менее 100 тыс. чел, что объясняется наличием отдельных локальных источников ртути.

Таблица 5.2 – Уровни содержания ртути в растительности

	Содержание ртути, нг/г	Литературный источник
Фон в наземных растениях	17	Иванов, 1997
Кларк ртути в наземных растениях	12	Добровольский, 2003

Результаты исследований показали не только значительное превышение относительно полученного среднего содержания (25 нг/г), но и литературных значений: кларка ртути в наземных растениях (12 нг/г) (Добровольский, 2003) и фоновых содержаний в листьях деревьев (17 нг/г) (Иванов, 1997) (таблица 5.2).

Рассмотрим полученные данные с превышением среднего содержания ртути в сухой массе листьев тополя на отдельных территориях относительно среднего содержания по всей выборке, более чем в 2 раза (рисунок 5.1; таблица 5.3).

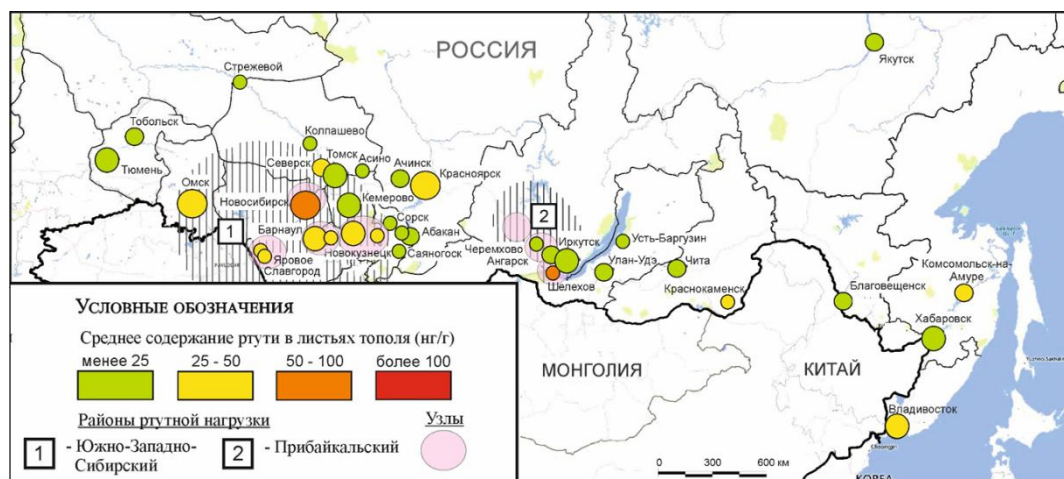


Рисунок 5.1 – Ртутная нагрузка в регионе Сибири и Дальнего Востока по уровню содержания ртути в листьях тополя (нг/г)

Таблица 5.3 – Числовые характеристики содержания ртути в листьях рода тополь (в нг/г сухого вещества) в группах по величине городов Сибири

Группы городов с населением	Среднее	Медиана	Стандарт отклонение	Коэфф. вариации, %
менее 100 тыс. чел. ¹	20,7 ± 1,6	20,2	7,8	38
100 – 500 тыс. чел.	22,6 ± 2,6	19,6	12,5	55
500 – 1000 тыс. чел.	23,9 ± 1,5	22,5	8,7	36
более 1000 тыс. чел. ²	37,0 ± 4,4	28,3	43,2	117
в целом для населенных пунктов	25,2 ± 2,9	23,9	5,8	135

¹ без учета пос. Акташ (Республика Алтай), г. Яровое, г. Славгород (Алтайский край), г. Шелехов, г. Саянск, г. Зима, г. Усолье-Сибирское (Иркутская обл.).

² данные по Новосибирску за 2014 г.

Распределение содержания ртути в сухой массе листьев тополя по городам зависит от расположения локальных источников ртути, параметров площади территорий, численности и плотности населения.

На рисунке 1 показано сравнение медианного значения содержания ртути на исследуемых территориях Сибири и некоторых отдельных городов Дальнего Востока, а также среднее содержание по всей выборке.

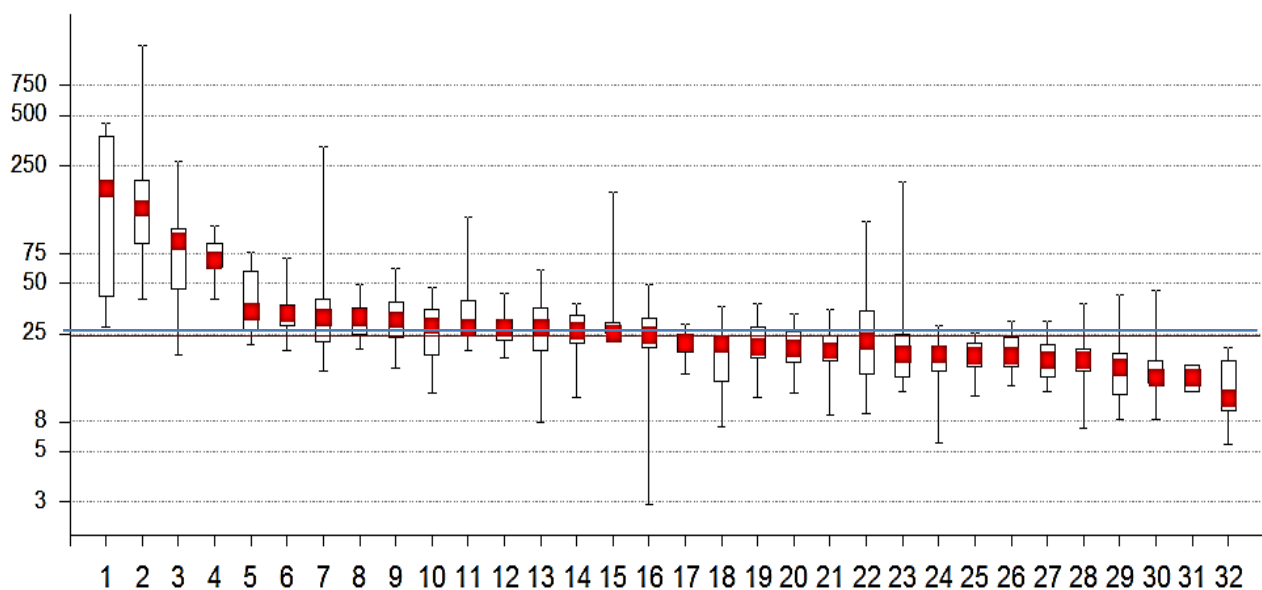


Рисунок 5.3 – Сравнение медианного содержания ртути в листьях тополя (нг/г) в городах Сибири и Дальнего Востока

Красная линия-среднее содержание в листьях тополя урбанизированных территорий Сибири и Дальнего Востока (25 нг/г) (Юсупов, 2018)

Синяя линия-медианное значение в листьях тополя общей выборки (23 нг/г)

1 – Акташ, 2 – Новосибирск, 3 – Шелехов, 4 – Славгород, 5 – Яровое, 6 – Северск, 7 – Усолье-Сибирское, 8 – Краснокаменск, 9 – Барнаул, 10 – Омск, 11 – Комсомольск-на-Амуре, 12 – Владивосток, 13 – Бийск, 14 – Красноярск, 15 – Зима, 16 – Новокузнецк, 17 – Тюмень, 18 – Иркутск, 19 – Томск, 20 – Хабаровск, 21 – Абакан, 22 – Благовещенск, 23 – Саянск, 24 – Улан-Удэ, 25 – Ачинск, 26 – Тобольск, 27 – Чита, 28 – Ангарск, 29 – Кемерово, 30 – Саяногорск, 31 – Свирск, 32 – Якутск.

Высокие максимальные значения, относительно среднего, наблюдается в городах: Новосибирск (1298 нг/г) по данным 2017г., Усолье-Сибирское (327 нг/г), Комсомольск-на-Амуре (124 нг/г), Зима (200 нг/г) и Благовещенск (118 нг/г). Причиной такого значения концентраций ртути служат расположенные на территориях городов локальных источников загрязнения. Низкие минимальные значения относительно среднего по городу отмечаются в 3 городах: Бийск (7,5 нг/г), Новокузнецк (2,5 нг/г), Улан-Удэ (5,6 нг/г). Точки, на которые приходятся

минимальные значения отбирались в условно фоновых территориях в черте города.

На территории г. Якутск среднее (12,4 нг/г), минимальное (5,5 нг/г) и максимальное (20,6 нг/г) значения находятся ниже среднего по всей выборке (25 нг/г). Большая часть точек отбора располагались на значительном расстоянии от источников возможного загрязнения и не затронуло территории с большой антропогенной нагрузкой. По литературным источникам, общее экологическое состояние г. Якутск оценивается как «удовлетворенное» с повышенными содержаниями ртути в листьях березы (Абрамов, 2015)

В список территорий с повышенными средними значениями вошли: Акташ, Новосибирск, Шелехов, Славгород, Яровое, Северск, Усолье-Сибирское, Краснокаменск, Барнаул, Омск. Если рассматривать среднее значение ртути и территориальное расположение исследованных городов и поселков, то самым загрязненным можно считать Республику Алтай (246,4 нг/г), Новосибирскую область (56 нг/г), Иркутскую область (33,4 нг/г), Омскую область (28,6 нг/г), Алтайский край (25,8 нг/г), Забайкальский край (25,0 нг/г). Но следует учитывать количество урбанизированных территорий, в которых проходил отбор проб. Так в Республике Алтай при подсчете среднего значения учитывались только территории в непосредственной близости от Акташского горно-металлургического предприятия, в то время как в Иркутской области было опробовано 9 урбанизированных территорий. Среднее значение ртути по Томской области составило 19,6 нг/г, Кемеровской области-19,9 нг/г, Республике Хакасия – 19,0 нг/г, Тюменской области – 20,9 нг/г, Республике Бурятия – 20,5 нг/г, Красноярского края-22,6 нг/г, Республики Тыва – 14,9, Республике Саха – 12,4 нг/г.

Таким образом, нами установлено, что среднее содержание ртути на урбанизированных территориях Юга Сибири по данным сухой массы листьев древесных растений рода тополь составляет - $25 \pm 2,9$ нг/г. Относительно полученного значения выявлены территории с повышенными содержаниями

ртути в листьях: Акташ, Новосибирск, Шелехов, Славгород, Яровое, Северск, Усолье-Сибирское, Краснокаменск, Барнаул, Омск.

Выявлена зависимость среднего значения ртути от численности населения исследуемой территории и наличия локальных источников.

6. Влияние техногенеза на накопление ртути в древесных растениях рода тополь

Одна из территорий с повышенными содержаниями ртути находится в Алтайском крае. Он расположен в юго-восточной части Западной Сибири и граничит с Кемеровской, Новосибирской областями, Республикой Алтай и Казахстаном (Павлодарская, Восточно-Казахстанская области). В общем и целом, экологическая обстановка на территории Алтайского края в значительной степени определяется размещением и концентрацией экологически активных отраслей материального производства, уровнем очистки производственных выбросов от загрязняющих веществ, сосредоточием и загруженностью транспортных магистралей. Основными загрязнителями являются предприятия химии и нефтехимии, машиностроения, теплоэнергетики.

На территории г. Славгород и г. Яровое существуют локальные источники эмиссии ртути, которые могут быть связаны с действующими предприятиями ООО «Алтайсибпром», ЗАО «Славгородский Гортопсбыт», ОАО «Алтайский Химпром». По данным Г.А. Леоновой (2002; 2005), на территории оз. Яровое обнаружено ртутное пятно в зоне воздействия отходов химического комбината «Алтайхимпром». Раньше предприятие являлось крупнейший производителем химических реактивов, в число которых входит оксид ртути.

Анализ содержания ртути в листьях тополя показал превышение среднего содержания ртути в г. Яровое в 2 раза относительно среднего содержания в городах Сибири и Дальнего Востока.

Существенный вклад вносит и трансграничный перенос с Павлодарской области Республики Казахстан, чему способствует преобладающий западный перенос воздушных масс в летний период. Павлодарская область является одной из наиболее промышленно развитых областей Казахстана и область подвержена высокому техногенному загрязнению, так как базовыми отраслями является нефтеперерабатывающая, химическая промышленность, чёрная и цветная металлургия, энергетика. Главными источниками загрязнения являются тепловые электрические станции. Основная масса выбросов приходится на промышленные

предприятия, расположенные в городах Экибастуз, Аксу и Павлодар. Максимальная концентрация (45,9 нг/г) приходится на село Павлодарское расположенное в 10 км от г.Павлодар.

В советское время Казахстан был активно вовлечен в производство ядерного оружия. Кроме знаменитого Семипалатинского полигона, существовало еще значительное количество предприятий, имевших отношение к ядерной инфраструктуре Советского Союза. Основным предприятием, имеющим прямое отношение к отработке и производству химического и биологического оружия, являлось Павлодарское ПО «Химпром».

В Казахстане на ОАО «Каустик» (ранее ОАО «Павлодарский химический завод», завод «Химпром») в почву с 1975 по 1993 годы поступило по разным данным от 900 тонн до 40 тыс. тонн ртути. Образовавшееся при производстве каустической соды подземное ртутное озеро перемещалось к Иртышу. В 1998 году с поверхности земли на территории завода «Каустик» было собрано более 17,5 тонн ртути. Расстояние ртутного озера и загрязненных грунтовых вод от реки Иртыш — 5 км (Казахстанский военный...).

Рядом исследований установлены превышения ртути в почве г. Павлодар в 22 раза, с максимальными концентрациями в северной промзоне (3,51 мг/кг) в районе возможного влияния ТЭЦ-2 и нефтеперерабатывающего, тракторного, химического заводов (Панин, 2006). В этой же части города фиксируются и повышенные содержания ртути в снежном покрове (Шахова, 2016). Концентрация паров ртути в атмосферном воздухе, в отдельных районах, превышает ПДК. Согласно данным «Итогового отчета по результатам государственного ртутного мониторинга в районе Северной промышленной зоны г. Павлодар за 2017г», максимальная концентрация доходит до 0,056 мг/дм³, при допустимой концентрации в атмосферном воздухе населенных мест - 0,0003 мг/дм³ (Гигиенические нормативы 2.1.6.1338-03).

На территории г. Краснокаменск находится Приаргунское производственное горно-химическое объединение «ППГХО», являющееся одним из крупнейших уранодобывающих предприятий. Среднее значение по городу

ненамного превышает среднее содержание по всей выборке, концентрации варьируются от 20 до 49 нг/г. Ореолы повышенного содержания ртути сконцентрированы в зоне воздействия ТЭЦ.

На территории Иркутской области находится 4 территории с повышенными концентрациями ртути. На территории области развита мощная промышленная зона, включающая деревообрабатывающую, химическую, нефтеперерабатывающую, пищевую промышленность, теплоэнергетику, машиностроительный комплекс, металлургию и тд. Согласно докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» в список городов с наиболее загрязненной атмосферой попали 8 городов Иркутской области (г. Ангарск, г.Братск, г.Зима, г.Иркутск, г.Свирск, г.Усолъе-Сибирское, г.Черемхово, г.Шелехов) где сосредоточены крупнейшие промышленные предприятия. В начале 90-х гг. на территорию области приходилось 25% всех выпадений ртути от промышленности Сибири (Ефимова, 2005).

Г. Шелехов, крупный промышленный центр к юго-западу от г.Иркутск. На территории города биогеохимический ореол ртути обнаружен вблизи несанкционированной свалки и двух автомагистралей (рисунок 6.1). Продольная ось ореола ртути прослеживается с северо-запада на юго-восток от развязки автомагистралей до пос. Олха и согласуется с розой ветров. Среднее содержание ртути по городу превышает средний показатель по ртути практически в 3 раза, кларк ртути в наземных растениях - в 6 раз, фоновое содержание в листьях деревьев - в 4 раза.

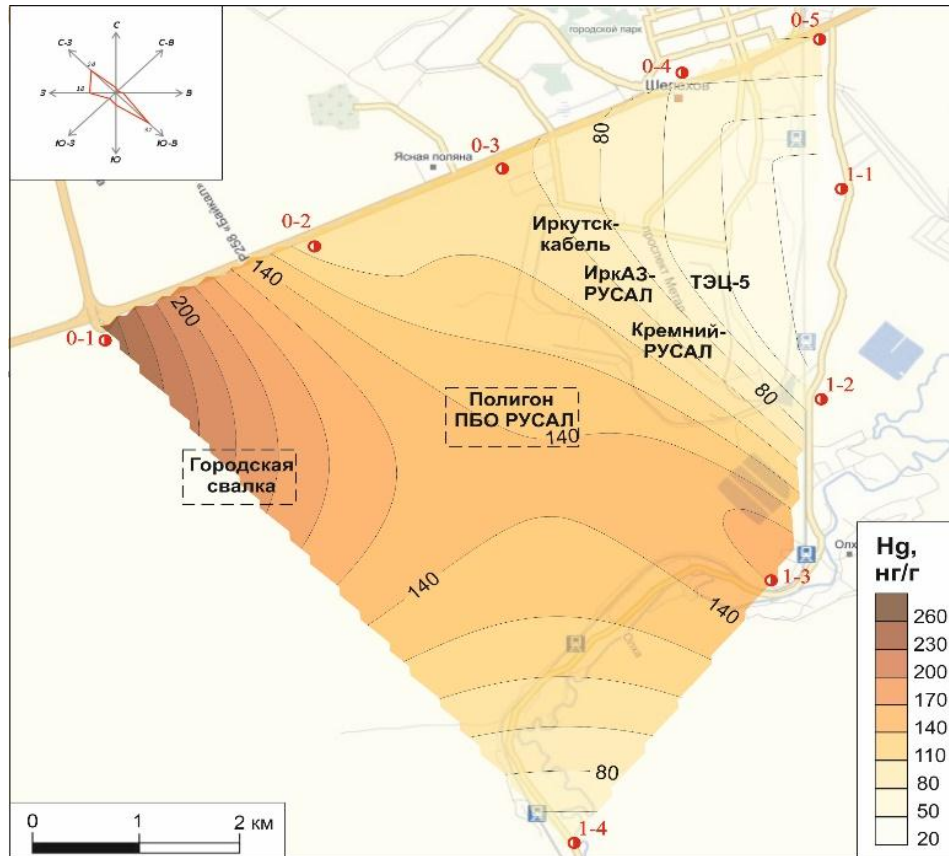


Рисунок 6.1 – Биогеохимические ореолы ртути на территории г. Шелехов по данным исследования сухой массы листьев древесных растений рода тополь

Анализ существующих в городе проблем с системами утилизации и захоронении отходов, показал отсутствие возможности сбора ртутьсодержащих ламп. В связи с заполненностью полигона и завышенным тарифам на утилизацию, опасные отходы попадают на несанкционированные свалки.

В северо-западной части Иркутской области находится 3 города, имеющие ореолы с повышенным содержанием ртути: Усолье-Сибирское, Саянск, Зима. Два последних города находятся на расстоянии 25 км друг от друга и 290 км от г. Иркутск. На территории г.Саянск отсутствуют крупные предприятия, но за чертой города расположен АО «Саянскхимпласт», где в 1976 г. был запущен цех ртутного электролиза производства хлора и каустика, перешедший в 2007 г на диафрагменную технологию. Рядом находится Ново-Зиминская ТЭЦ. По территории города концентрации ртути варьируются в пределах 11-24 нг/г, когда как у АО «Саянскхимпласт» 124-200 нг/г. Во многих исследовательских работах

зафиксированы высокие концентрации ртути, как в рабочей зоне производства каустической соды и хлора (Якимова, 2009), так и на прилегающих территориях, включая гг. Саянск и Зима.

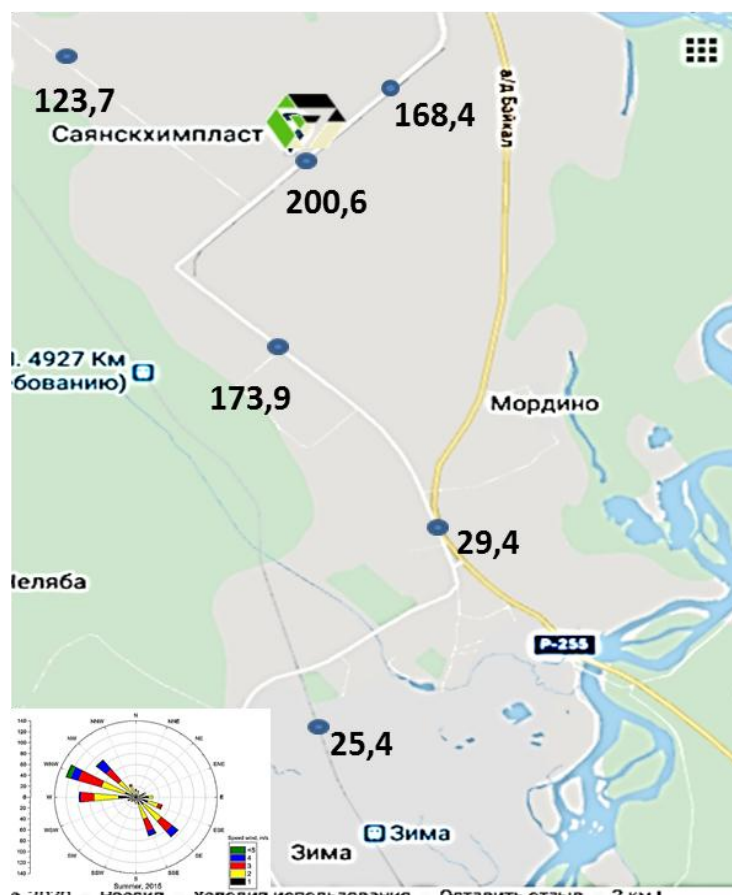


Рисунок 6.2 – Концентрации ртути на территории г.Зима

Таблица 6.1– Содержание ртути (нг/г) в сухой массе листьев древесных растений рода тополь городов Иркутской области

	Саянск	Зима	Усолье-Сибирское	Шелехов
Ср.	58,0	26,3	53,2	98,4
Max.	200,6	29,4	327,1	264,0
Min.	11,3	25,1	15,1	18,9

Г. Зима входит в список городов с самым загрязненным воздухом и занимает 3 место (О состоянии и об охране окружающей среды, 2018). Основной источник загрязнения, АО «Саянскхимпласт», расположен в 8 км к северу от города. Преобладающий юго-восточный перенос ветра играет существенную роль

в загрязнении атмосферного воздуха на территории города. В центральной части концентрация ртути составляет 25 нг/г, тогда как в северной части черты города она повышается от 29 нг/г до 173 нг/г при приближении к источнику загрязнения, что показано на рисунке 6.2.

Почвенно-геохимические исследования, проведенные рядом исследователей (Бутаков Е.В) показали масштаб загрязнения и наличие повышенного содержания ртути вблизи зон влияния промышленных объектов (ТЭЦ, Саянскхимпласт).

Наши исследования показали, что на территории г.Шелехов обнаружен ореол с повышенным содержанием ртути в районе несанкционированной свалки и пересечения двух автомагистралей. Максимальное значение валовой ртути составляет 264 нг/г.

К северо-западу от г.Шелехов, расположены 3 территории с повышенными содержаниями ртути: Саянск, Зима, Усолье-Сибирское.

Непосредственно г.Саянск лишен крупных предприятий, находящихся на территории города, и валовая концентрация ртути не превышает 24 нг/г. Но в 20 км находится «Саянскхимпласт», предприятие, входящее в тройку крупнейших производителей каустической соды, и Ново-Зиминская ТЭЦ. Валовые концентрации ртути вблизи «Саянскхимпласт» и ТЭЦ варьируются в пределах 124-200 нг/г. В 8 км от предприятия расположен г.Зима который находится в зоне влияния химического предприятия и теплоэлектроцентрали.

6.1 Распределения ртути в сухой массе листьев рода тополь в зоне влияния химического производства (г.Усолье-Сибирское)

Г. Усолье-Сибирское располагается в 90 км от г.Иркутска. На территории города находится ликвидированное в 2007 предприятие ОАО «Усольехимпром» общей площадью 24 км², где до 1998 работал цех ртутного электролиза. Предприятие было закрыто в 2017 г., но ртутные отходы так и находятся на территории завода, что создает серьезную экологическую проблему для всей области. В районе и внутри цеха ртутного электролиза, даже после закрытия предприятия, концентрации ртути в воздухе повышается до 1000 ПДК

(Гребенщикова, 2006; Королева, 2006). Кроме цеха, где использовался ртутный электролиз при производстве каустической соды, существует дополнительный источник ртутного загрязнения на территории предприятия – шламонакопитель «Усольехимпром». Отсутствие на объекте «водного зеркала», предназначенного для предотвращения испарения ртути, содержащейся в шламе, создает серьезную экологическую опасность, особенно при теплой и ветреной погоде. По данным М.В. Пастухова (2019), в техногенных отложениях объекта концентрация ртути различается в зависимости от глубины, но все равно отмечается превышение ПДК для почв (2.1 мг/кг). Превышение составляет от 2 до 40190 раз, с максимальной концентрацией в нижних слоях. Экологическая проблема загрязнения природных объектов от «Усольехимпром» обсуждается во многих работах.

Также, на территории ликвидированного химического предприятия «Усольехимпром», находится одна из наиболее крупных действующих в Иркутской области электростанций-ТЭЦ-11, которая может служить дополнительным источником загрязнения.

По нашим данным, средняя концентрация ртути (53 нг/г), в сухой массе листьев тополя, превышает среднее содержание по всей выборке в 2 раза. Показатели варьируются от 15 нг/г до 40 нг/г в пределах города, имея повышенные концентрации вблизи отдельных точек (вокзал, Усольский машиностроительный завод, главная автомагистраль). В промзоне ОАО «Усольехимпром», находящейся в 2 км от жилых построек, концентрации резко возрастают 97-327 нг/г (рисунок 6.1.1).



Рисунок 6.1.1 – Распределение ртути в зоне влияния предприятия «Усольехимпром» по данным опробывания сухой массы листьев тополя (нг/г)

Максимальное значение приходится на точку вблизи главного входа на территорию ликвидированного предприятия (327 нг/г), превышая средний показатель по всей исследуемой территории города в 6 раз, среднее содержание по всей выборке - в 13 раз.

Таким образом, в г.Усолье-Сибирское высокие валовые концентрации ртути сосредоточены вблизи зоны влияния ликвидированного химического предприятия «Усольехимпром». Несмотря на прекращение своей деятельности, предприятие продолжает наносить вред окружающей среде. На территории производственной площадки предприятия находятся: цех ртутного электролиза, который не демеркуризирован должным образом, шламонакопитель, емкости с остатками продуктов химического производства и тд. Концентрации ртути

вблизи предприятия варьируются от 97 до 327 нг/г, в то время как на территории города от 15 до 40 нг/г.

6.2 Распределения ртути в сухой массе листьев рода тополь вблизи горнорудного производства (с.Акташ)

В пос. Акташ (Алтайский край) наблюдается высокий уровень среднего содержания ртути в листьях тополя, а именно в зоне заброшенного Акташского горно-металлургического предприятия (АГМП), разрабатывающее одноименное месторождение входящее в Курайскую ртутную зону (Смирнов, 1976). Месторождение карбонатно-киноварного минерального типа, хотя имеет все признаки, сближающие его с лиственитовым типом.

АГМП начало функционировать в 1941 г, вплоть до 80-х годов. В 90-х предприятие перешло на переработку ртутьсодержащих отходов (Янин, 2002; Робертус, 2010). За годы работы было добыто более 5000 т ртути с учетом большого колебания от 30 до 130 т. в год (Ягольничер, 1995).

Проведенные исследования указывают на «остаточное» загрязнение окружающей среды, даже после прекращения функционирования рудников. Это утверждение касается не только АГМП, но и любых других месторождений. В зоне влияния месторождения, карбонатно-полиаргиллитового типа, Монте - Амиата (Италия), закрытого в 1975 году, по настоящее время отмечается повышенное содержание ртути в природных объектах (Bargagli,1986; Barghiani,1992).

Территория АГМП характеризуется повышенными концентрациями ртути во всех средах (рисунок 6.2.3), что доказывается другими работами (Рожденственская, 1990; Фалалеев, 1993; Сухенко, 1995; Кац, 2004; Архипов, 2007; Робертус, 2010; Юсупов, 2018).

Средняя концентрация ртути в сухой массе листьев деревьев рода тополь, на исследуемой территории составляет 246 нг/г, что в 10 раз превышает региональный уровень содержания ртути в городах юга Сибири и Дальнего

Востока, в 21 раз кларк ртути в наземных растениях (Добровольский, 2003) и в 14 раз фоновое содержание в наземных растения (Иванов, 1997).

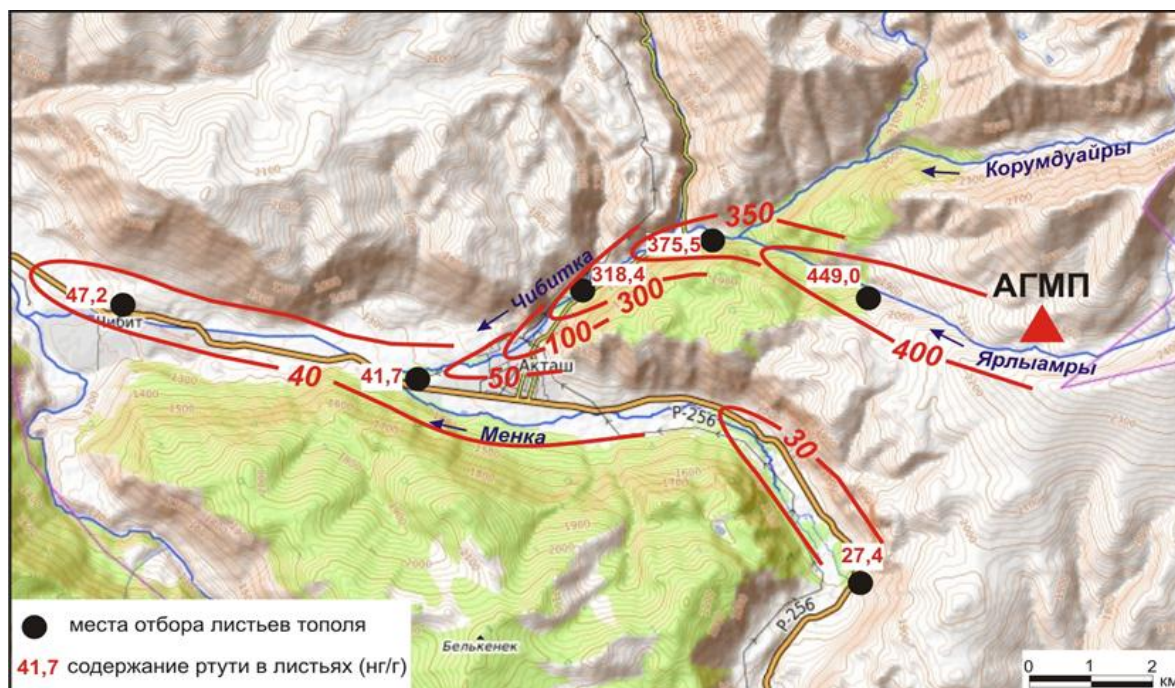


Рисунок 6.2.2 – Биогеохимический поток ртути в районе Акташского горно-металлургического предприятия по данным опробования сухой массы листьев тополя (нг/г)

Максимальное значение приходится на точку в непосредственной близости от АГМП (449 нг/г), минимальное (27,4) в точке расположенной в 9 км выше устья р. Чибитка (рисунок 6.2.2). Данная территория является ярким примером природного источника ртутного загрязнения и является одной из наиболее загрязненных токсичным элементом мест в Российской Федерации.

Для горной местности характерно линейное распределение ртути вдоль поймы реки (рисунок 6.2.2).

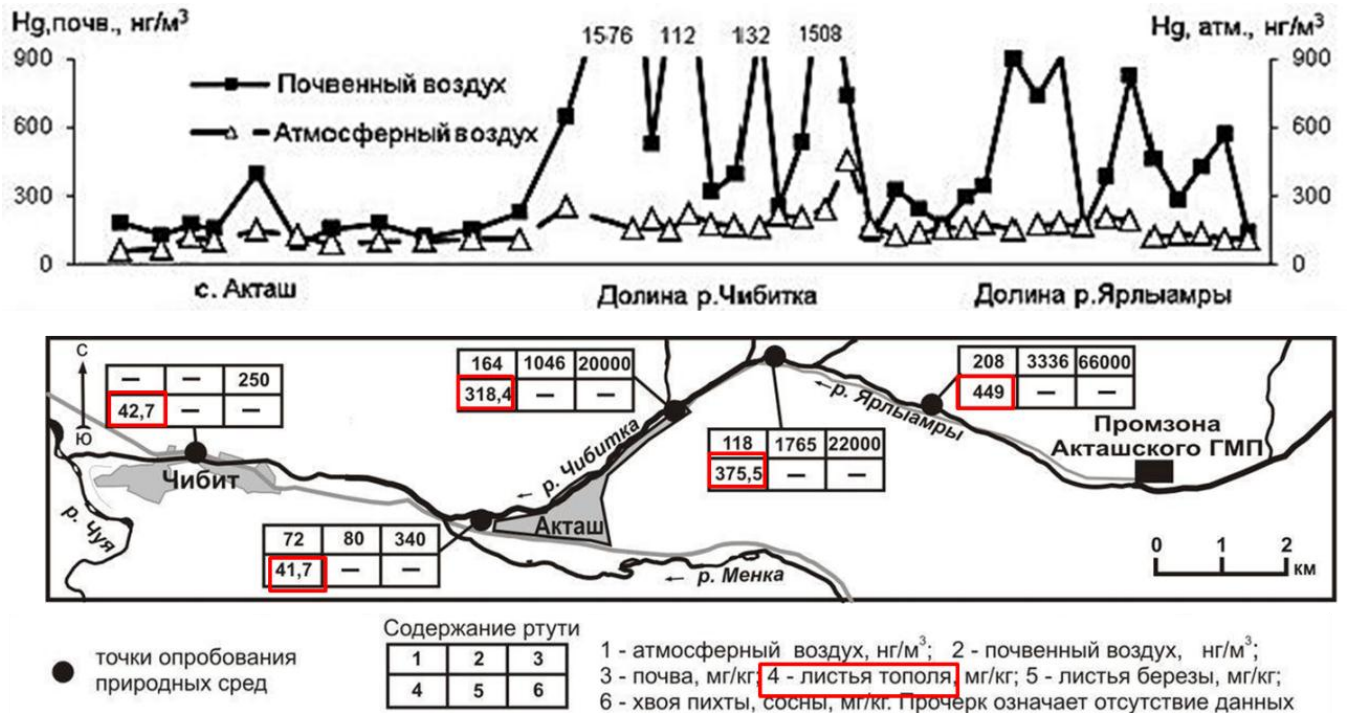


Рисунок 6.2.3 – Распределение ртути в воздухе, почве, листьях тополя в районе бывшего Акташского рудника

Пос. Акташ является лидером в списке исследованных территорий по среднему содержанию ртути (246 нг/г), которое превышает среднее по всем исследованным урбанизированным территориям Сибири в 10 раз.

Таким образом, высокие содержания ртути обнаружены и в Алтайском крае на территории Акташского горно-металлургического предприятия (АГМП). Максимальное значение приходится на пос. Акташ, находящегося в непосредственной близости от АГМП и составляет 449 нг/г.

6.3 Распределения ртути в древесных растениях рода тополь вблизи литейного производства (г. Новосибирск)

Г. Новосибирск, третий по численности населения город Российской Федерации. Имеет высокую транспортную нагрузку, развитую промышленность, электроэнергетику, а также на его территории расположен ряд отдельных предприятий в технологическом процессе которых используется ртуть.

Анализ по содержанию ртути в сухой массе листьев тополя проводился в 2014 г. по площадной сети, охватывающей большую часть города и в 2017 г., для подтверждения полученных результатов и более точного определения источника ртутной аномалии в городе.

По данным 2014 г., средняя концентрация ртути в листьях тополя составляет 61 нг/г, что превышает среднее значение по всей выборке городов - в 2 раза (25 нг/г).

Повышенные содержания ртути в сухой массе листьев тополя объясняются высокой транспортной нагрузкой, развитой промышленностью, электроэнергетикой, отдельными крупными предприятиями (в технологическом процессе которых используется ртуть), наличие организованных и несанкционированных свалок. Стоит учесть и тот факт, что летние периоды проведения экспериментальных исследований отличаются повышенной средней температурой воздуха, что способствует испарению паров ртути, накопленной сферами экосистемы города.

Относительно чистым районом, оказался Первомайский, расположенный в юго-восточной части города. Среднее содержание ртути в листьях тополя составило 22,8 нг/г. На втором месте - Ленинский и Октябрьский районы, со средним значением ртути (30 нг/г), ненамного превышающим региональный фон (рисунок 6.3.1). Не смотря на расположение в данных районах большей части промышленных предприятий, можно считать их относительно чистыми по данным ртутного анализа 2014 г.

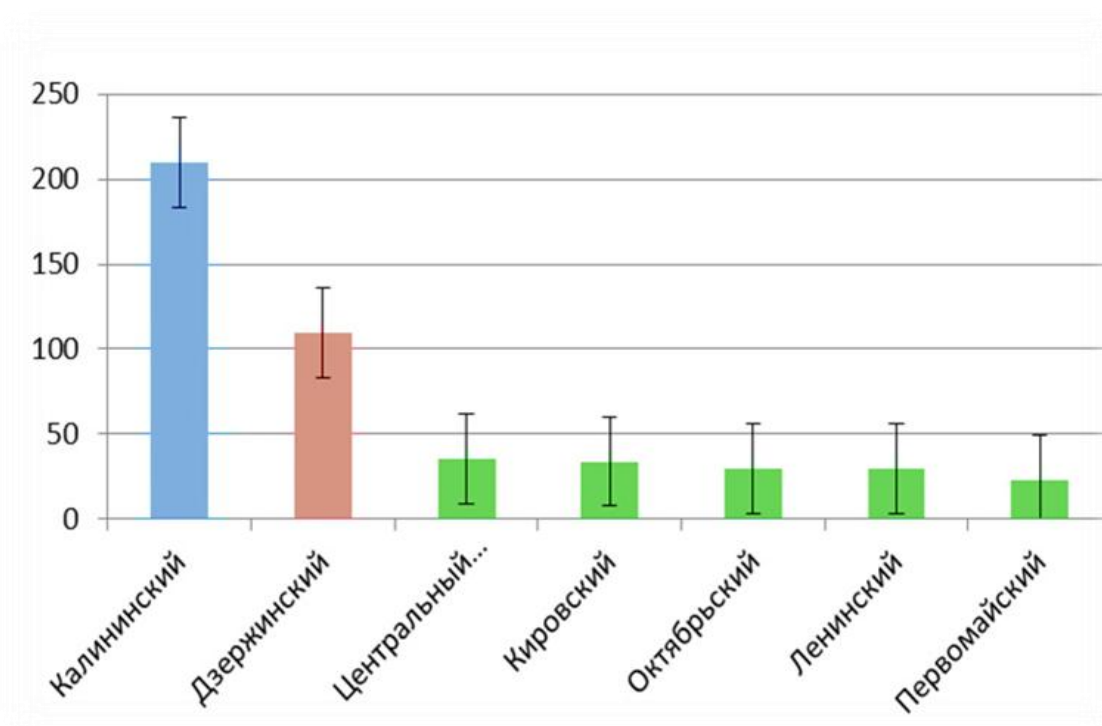


Рисунок 6.3.1 – Среднее содержание ртути (нг/г) в листьях тополя по административным районам г. Новосибирска

Максимальные концентрации приходятся на Калининский и Дзержинский районы (411 и 323 нг/г), расположенные в северо-восточной части города (рисунок 6.3.2.а).

Биогеохимические ореолы ртути на территории города распределены неоднородно. Содержание ртути на территории левобережья и юго-восточной части правобережья р. Оби не превышает 40 нг/г, в то время как в северной части правобережья выделяется очаг с содержанием ртути более 100 нг/г. В ореоле повышенных концентраций ртути находится несколько возможных источников ртутного загрязнения. На рисунке 6.3.2.а, четко прослеживается ореол загрязнения, расположенный у территории вблизи ТЭЦ-4 и отсутствие такового у ТЭЦ-3, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-5, что указывает на наличие другого вида источника.

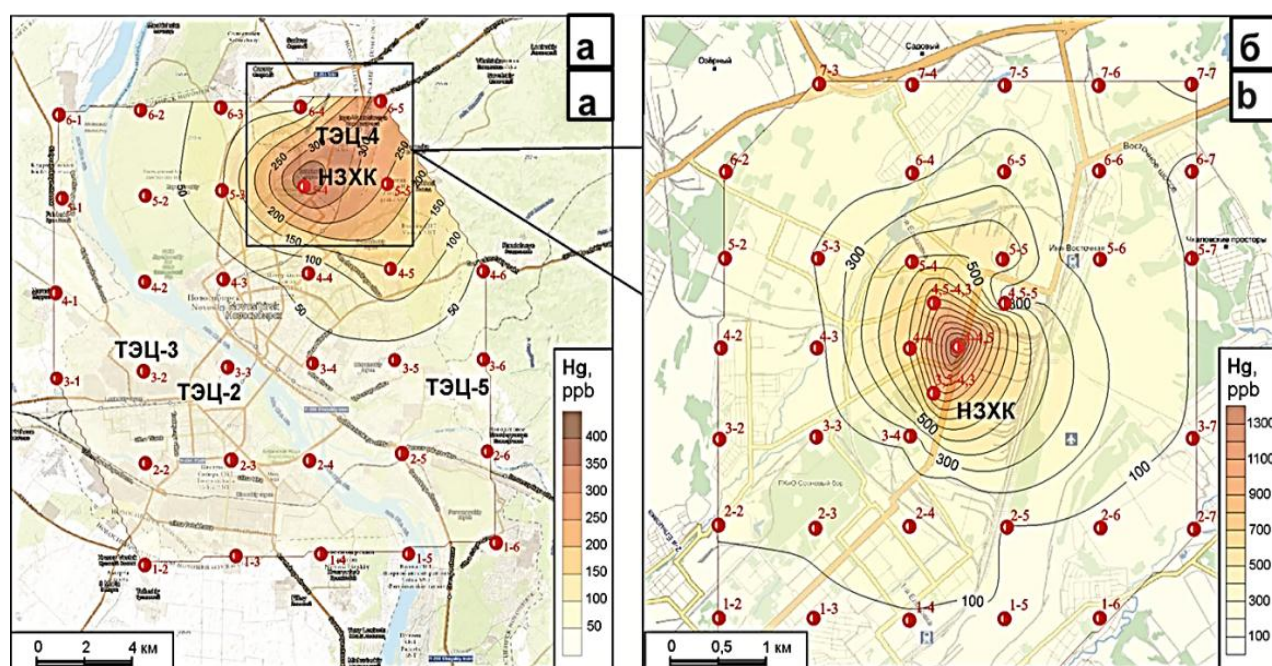


Рисунок 6.3.2 – Ореолы ртути в г. Новосибирск в сухой массе листьев тополя по данным 2014 (а) и 2017 (б) гг

Среднее значение по данным 2014 г (61 нг/г), в 2 раза выше медианного значения (30 нг/г), что показывает на значительный разброс значений и наличие аномальных концентраций.

Повторный отбор проб (рисунок 6.3.2.б) охватил Калининский и Дзержинский районы, где обнаружены наиболее высокие содержания ртути в сухой массе листьев тополя. Результаты анализа показали наибольшую концентрацию вблизи промышленной площадки Новосибирского завода химконцентратов (НЗХК) - 1298 нг/г, превышающее среднее содержание ртути в городах Сибири и Дальнего Востока в 52 раза, среднее значение по всей территории города по данным 2014 года в 26 раз, кларк ртути в наземных растениях более чем в 100 раз, фоновое содержание в листьях деревьев в 76 раз. НЗХК является крупнейшим заводом ядерно-топливного цикла в России по производству ядерного топлива, химикатов для промышленного применения и лития, при производстве которого используется ртуть.

Средняя концентрация ртути на территории Калининского и Дзержинского районов по данным 2017 года составила 199 нг/г. Полученные цифры

свидетельствуют о значительном биологическом накоплении ртути листьями тополя на территории г. Новосибирск. Г. Новосибирск, с высокой техногенной нагрузкой, служит отличной территорией для отслеживания динамики поступления ртути от антропогенных источников.

Таким образом, максимальные валовые значения ртути приходятся на третий по численности город России, г.Новосибирск. Среднее значение ртути по городу составило 61 нг/г, с максимальным валовым значением 411 нг/г в Калининском районе. При повторном опробывании и анализе Калининского района города была выявлена максимальная концентрация ртути-1298 нг/г. Средняя концентрация по району составила 199 нг/г со сосредоточением повышенных концентраций вблизи Новосибирского завода химконцентратов (НЗХК). Наблюдается четкое увеличение ртути по мере приближения к источнику загрязнения.

Были проанализированы территории с повышенными содержаниями ртути в листьях рода тополь и выявлены возможные источники поступления поллютанта в окружающую среду. Полученные результаты могут свидетельствовать, что ртуть в листьях является индикатором различного техногенного воздействия.

7. Ретроспективный анализ накопления ртути в кольцах деревьев от различного типа источников

Дендрогеохимический метод позволяет определить не только загрязнение различными вредными веществами, но и временной промежуток поступления загрязнителей.

7.1 Динамика изменения концентраций ртути в годичных кольцах деревьев рода тополь в зоне влияния антропогенного источника

Для анализа динамики загрязнения ртутью, были отобраны пробы керна тополя на расстоянии 300-900 м от антропогенного источника ртутного загрязнения в г. Новосибирск.

Период с самым низким содержанием ртути в годовых кольцах тополя – 6 нг/г с 2002 по 2018 гг. Временной интервал с самыми высокими значениями содержания ртути (441 нг/г) приходится на 1966-1986 гг (рисунок 7.1.1).

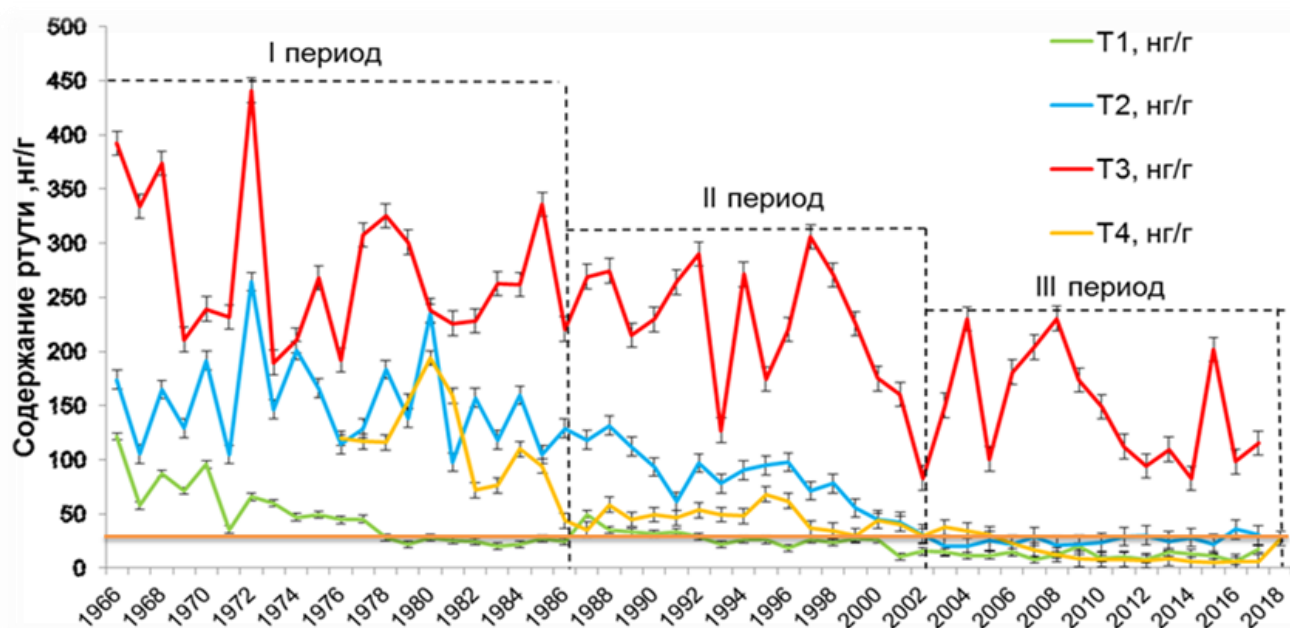


Рисунок 7.1.1 – Динамика изменения концентрации ртути в годичных кольцах тополя в зоне влияния НЗХК (нг/г)

Оранжевая линия – среднее содержание в городах Сибири и Дальнего Востока (25 нг/г)

Расстояние от источника загрязнения: T1-700 м, T2-600 м, T3-480 м, T4-900 м.

Начиная с 1987 по 2001 гг. происходит постепенное снижение средних концентраций ртути со 152 до 98 нг/г. Похожий характер накопления ртути деревьями отражает динамику ртутной нагрузки на окружающую среду города.

Минимальные средние значения концентрации элемента в ядрах тополя в зоне воздействия промышленного объекта выпадают на точку 1 (32 нг/г) и точку 4 (52 нг/г), расположенные на самом дальнем расстоянии от предполагаемого источника. Минимальные концентрации ртути в выше указанных точках относятся к периоду 2016-2017 гг. Относительно других, первая точка характерна низкими концентрациями (6 нг/г) в течение всего анализируемого периода. Максимальные концентрации ртути выявлены в точке 3, которая находится в 480 м от предполагаемого источника.

Такой скачок концентраций ртути можно объяснить близким расположением ПАО «НЗХК», который в 60-х годах XX века запустил процесс литейного производства. Также, возможно влияние золоотвала и ТЭЦ-4, на которой за счет введения в строй новых агрегатов, в период середины 50-х по начало 70-х, произошел рост генерирующих мощностей.

Помимо фиксирования техногенеза, использование дендрохронологических исследований весьма актуальна и для фиксирования землетрясений.

7.2 Пространственно-временные закономерности распределения ртути в годовых кольцах тополя в сейсмоактивной зоне

Байкальская рифтовая зона (БРЗ) находится в континентальной части Евразии и представляет собой внутриконтинентальную тектоническую структуру глубинного заложения. БРЗ является одной из самых сейсмоопасных территории Российской Федерации, где за год происходит в среднем 2000 мелких землетрясений. Периодичность 10-балльных землетрясений составляет 200-300 лет. Современной тектонической активности БРЗ сопутствуют аномалии мощности коры, плотности в верхней мантии и теплового потока.

Анализ литературных данных (Коваль, 2005; Гребенщикова, 2019) указывает на повышение ртути в воде оз. Байкал в периоды стихийных бедствий,

таких как: землетрясения, ураганы, наводнения, штормы и тд. В периоды отсутствия катаклизмов отмечается низкое содержание ртути в экосистеме озера ($\leq 0,0005$ мкг/л), но в периоды землетрясений концентрация увеличивается в 3-5 раз.

На западе, продолжением Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) служит Тункинская котловина, где в населенных пунктах расположенных вблизи разломов был проведен отбор проб. Она является системой межгорных понижений тектонического происхождения в горах Восточного Саяна в Бурятии (большая часть) и Иркутской области и с юго-востока ограничена хребтами Хамар-Дабана (рисунок 7.2.1).

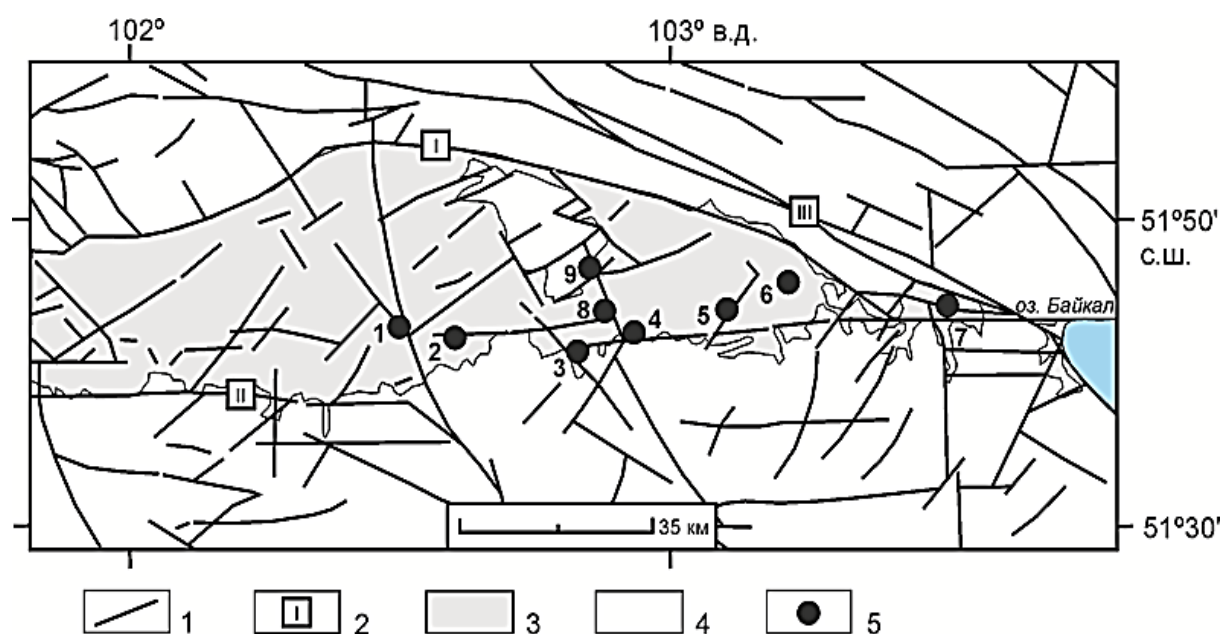


Рисунок 7.2.1 – Карта-схема разломно-блокового строения земной коры Тункинской котловины (по О.В. Луниной, 2009) и фактического материала опробования древесного керна. Условные обозначения: 1 – разломы, 2 – главные разломы: I – Тункинский, II – Южно-Тункинский, III – Главный Саянский; 3 – впадины, заполненные осадочными отложениями мезо-кайнозойского возраста; 4 – выступы кристаллического фундамента протерозойского возраста; 5 – места отбора проб древесного керна тополя душистого (*Populus suaveolens* Fisch.) и их номера: 1 – Шимки, 2 – Кырен, 3 – Жемчуг, 4 – Зактуй, 5 – Зун-Мурино, 6 – Торы, 7 – Быстрая, 8 – Тунка, 9 – Галбай

Среднее значение по всей выборке составило 8 нг/г, максимальное значение в точке, отобранной в пос. Галбай. Пос. Зун-Мурино характеризуется максимальным средним значением среди всех проанализированных участков (12 нг/г) (рисунок 7.2.2). Превышение средних значений относительно среднего геометрического, взятого за местный фон при логнормальном распределении выявлено на 5 территориях. Превышение средних содержаний ртути в годовых кольцах тополя, относительно среднего содержания в листьях (25 нг/г), кларка ртути в листьях (Добровольский, 2003) и фонового значения в наземных растениях (Иванов, 1997) не выявлено.

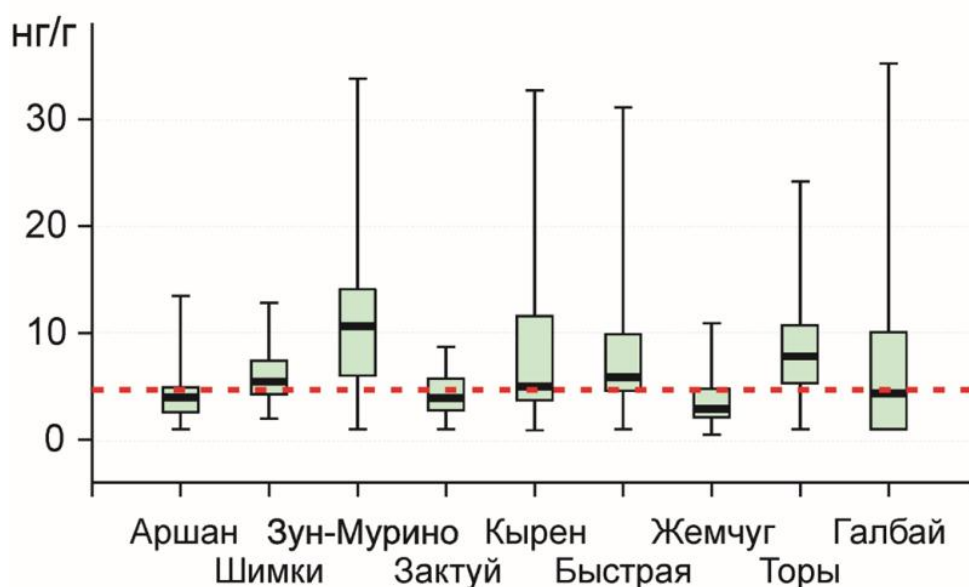


Рисунок 7.2.2 – Статистические параметры содержания ртути в годовых кольцах тополя на территории Тункинской котловины (нг/г)

Примечание: красным пунктиром обозначено среднее геометрическое

Результаты показали, что наибольший размах содержаний ртути приходится на пробы, отобранные вблизи пос. Кырен (рисунок 7.2.3), пос. Галбай (рисунок 7.2.4) и пос. Зун-Мурино (рисунок 7.2.5).

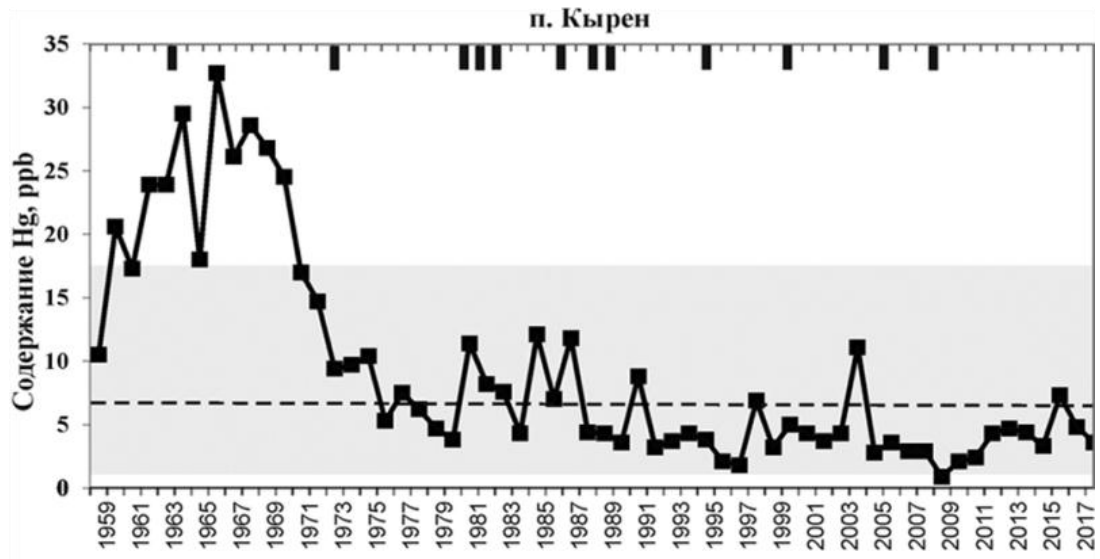


Рисунок 7.2.3 – Распределение ртути в годовых кольцах тополя на территории поселка Кырен, (нг/г)

3 – среднее содержание Hg в годовых кольцах с одним стандартным отклонением; 4 – среднее содержание Hg в общей выборке проб; 5 – землетрясения в районе Тункинской впадины с магнитудой >4.0.

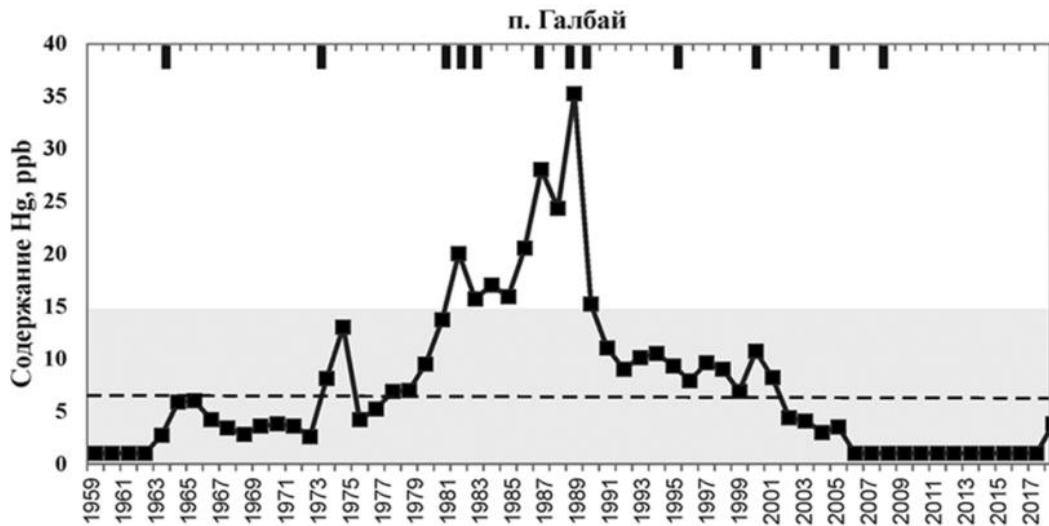


Рисунок 7.2.4 – Распределение ртути в годовых кольцах тополя на территории поселка Галбай (нг/г)

3 – среднее содержание Hg в годовых кольцах с одним стандартным отклонением; 4 – среднее содержание Hg в общей выборке проб; 5 – землетрясения в районе Тункинской впадины с магнитудой >4.0.



Рисунок 7.2.5 – Распределение ртути в годовых кольцах тополя на территории поселка Зун-Мурино (нг/г)

3 – среднее содержание Hg в годовых кольцах с одним стандартным отклонением; 4 – среднее содержание Hg в общей выборке проб; 5 – землетрясения в районе Тункинской впадины с магнитудой >4.0.

Вблизи пос. Кырен выделяются 2 отрезка со средним содержанием ртути 22 нг/г в период с 1958 по 1973 г. и 5 нг/г во временном ряду с 1974 по 2018 г. Похожий характер отмечается и в керне тополя вблизи пос. Зун-Мурино: повышенное содержание ртути в период с 1957 по 1981 г. (16 нг/г), затем с 1982 по 2006 г. снижение ртути до 5 нг/г, а после 2007 г. снова увеличение до 13 нг/г. Динамика ртути в керне тополя вблизи пос. Галбай отмечается пиком повышенного содержания ртути – 14 нг/г в период с 1978 по 2001 г., до 1977 и после 2001 г. среднее содержание отмечается в районе 2-4 нг/г.

В некоторых случаях максимальная эмиссия ртути, судя по графикам её поступления в годовые кольца, наблюдается непосредственно в год землетрясения (Галбай 1989,2016; Зун-Мурино 1975), но, чаще всего, максимальное поступление наблюдается до и(или) после землетрясения (Зун-Мурино 1957,2016).

Вышеописанные исследования показывают на вариабельность данных. Использование дендрохронологии позволяет отследить динамику поступления ртути и зафиксировать какие-либо события, повлиявшие на окружающую среду, такие как строительство заводов, переход на другое производство или природные явления (штормы, пожары, землетрясения).

Таким образом, проведенное исследование по изучению динамики накопления ртути в годовые кольца деревьев рода тополь на территории глубинного разлома земной коры позволило зафиксировать ртутную дегазацию Земли («ртутное дыхание») в период активации разломов.

Повышенные средние значения концентрации ртути зафиксированы в пос. Кырен, пос. Галбай и пос. Зун-Мурино. Максимальное значение приходится на пики соответствующие, либо предшествующие датам землетрясений.

Также, дендрогеохимический анализ позволил отследить динамику поступления ртути вблизи НЗХК и выявить периоды с наибольшим воздействием на окружающую среду, которые могут быть связаны как с природными явлениями, так и с антропогенной нагрузкой. Максимальное воздействие приходится на период с 1966 по 1987 гг, минимальное с 2002 г. по настоящее время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На исследованных урбанизированных территориях Сибири и Дальнего Востока было рассчитано среднее значение ртути в сухой массе листьев тополя, по всей выборке которое составило 25 нг/г. Относительно полученного значения выделены территории с повышенными содержаниями ртути, в число которых вошли: Акташ, Новосибирск, Шелехов, Славгород, Яровое, Северск, Усолье-Сибирское, Краснокаменск, Барнаул, Омск, Комсомольск-на-Амуре, Владивосток, Бийск, Красноярск, Зима, Новокузнецк.

В крупном промышленном центре Иркутской области, г.Шелехов, обнаружен ореол с повышенными содержаниями ртути вблизи несанкционированной свалки и двух автомагистралей с максимальной концентрацией - 264 нг/г. Г. Усолье-Сибирское, г. Саянск, г. Зима, расположенные в Северо-западной части Иркутской области, подвержены влиянию деятельности крупных химических предприятий.

В г. Славгород и г. Яровое (Алтайский край) повышенные содержания ртути в листьях тополя связаны с существующими локальными источниками и трансграничным переносом с Павлодарской области (Республика Казахстан).

В зоне влияния Акташского горно-металлургического предприятия (Горный Алтай) концентрации ртути в листьях тополя в 10 раз превышают среднее значение по всей выборке исследованных городов. Максимальное значение установлено в пос. Акташ.

Обнаружены высокие концентрации ртути в листьях тополя в северо-восточной части г. Новосибирск. Результаты повторного опробования территории с выявленными высокими содержаниями ртути в сухой массе листьев тополя, указали на наличие ореола в зоне влияния Новосибирского завода химконцентратов (НЗХК).

Анализ распределения концентраций ртути по кроне дерева и относительно его ориентации к источнику, указал на превышение содержания элемента в среднем в 1.5 раза с наветренной стороны. На расстоянии 2-3 метра от подстилающей поверхности, рекомендованной высоте отбора проб, отмечается

повышенная концентрация и незначительные различия в содержания ртути. Исследования видовой специфики концентрирования ртути в листьях деревьев рода тополь, показало допустимость использования в анализе разных видов тополя при соблюдении равных условий пробоотбора. Изменчивость содержаний ртути в листьях тополя в течении вегетационного периода указывает на накопление элемента.

Использование дендрогеохимического метода позволило проследить динамику поступления ртути в годовые кольца тополя и выявить периоды наибольшей ртутной нагрузки на территорию г. Новосибирск вблизи предприятия ядерно-топливного цикла. Период с 1987г. характеризуется понижением валовых концентраций ртути по настоящее время.

При помощи годовых колец деревьев рода тополь, отобранных на территории Тункинской котловины (Иркутская область) зафиксирована ртутная дегазация Земли («ртутное дыхание») в период активации разломов. Максимальные концентрации ртути в годовых кольцах приходятся на пики соответствующие, либо предшествующие датам землетрясений.

Выводы

1. Проведена сравнительная оценка накопления ртути сухой массе листьев деревьев рода тополь на урбанизированных территориях Сибири и Дальнего Востока. Результат свидетельствует о неоднородном характере концентрации элемента.

2. Установлены особенности распределения ртути в зависимости от вегетационного периода, вида тополя, высоты отбора проб, стороны кроны.

3. Выявлено влияние специфики производства (литиевое, горнорудное, химическое) на концентрацию ртути в листьях деревьев рода тополь.

4. Изучены особенности концентрирования элемента в годичных кольцах деревьев рода тополь. Зафиксирована ртутная дегазация Земли («ртутное дыхание») в период активации разломов.

Список литературы

1. Абдурахманов Г.М. Экологические особенности содержания микроэлементов в организме животных и человека/ Г.М. Абдурахманов, И.В. Зайцев. – М.: Наука. 2004. – 280 с.
2. Абрамов А.Ф. Биоиндикация загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами по содержанию их в листьях березы обыкновенной/ А.Ф. Абрамов, Т.В. Слепцова // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». – выпуск 69. – С. 31- 36.
3. Адаменков В.Н., Журавлева Е.Л., Четвериков А.Ф. Химический состав годовичных колец деревьев и состояние природной среды / В.Н. Адаменков, Е.Л. Журавлева, А.Ф. Четвериков// Доклады АН СССР. – 1982. – №2. – С. 507-512.
4. Азовский М.Г., Пастухов М.В., Гребенщикова В.И. Уровень накопления ртути в водных растениях как показатель загрязнения водоемов/ М.Г. Азовский, М.В. Пастухов, В.И. Гребенщикова // Вода: химия и экология. – 2010. – № 8. – С. 20-24.
5. Алексеева С.А. Вопросы экстремальной геохимической экологии микроорганизмов/ С.А. Алексеева // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы/ Мат. IV Российской биогеохимической школы (3-6 сентября 2003 г.)/ Отв. ред. проф. В.В. Ермаков. – М.: Наука. – 2003. – С. 339-341.
6. Алексеенко В.А. Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов / В.А. Алексеенко, С.А. Бузмаков, М.С. Панин // Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь. 2013. – 359 с.
7. Алексеенко В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко // Ростов н/Д: Изд-во Южного Федерального университета. 2013. – 388 с.
8. Аношин Г.Н. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов юга Западной Сибири/ Г.Н. Аношин, И.Н. Маликова, Ж.О. Бадмаева, М.А. Густайтис // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума. – М.: ГЕОХИ РАН. 2010. – 477 с.

9. Аношин Г.Н. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири / Г. Н. Аношин, И. Н. Маликова, С. И. Ковалев и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – Т.3. – № 1-2. – 1995. – С. 69 - 111.

10. Антипов А.Б. Ртутный мониторинг окружающей среды / А.Б. Антипов, Е.Ю. Тенина и др.// «Оптика атмосферы и океана». – 2002 . – Т. 15. – №1. – С. 81-87.

11. Арбузов С.А. Геохимия ртути в углях Сибири/ С.А. Арбузов, Н.А. Осипова, Ю.П. Зайцева, Е.В. Белая //Сборник: Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. – 2015. – С. 27-31.

12. 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.

13. Архангельская Т. А. Краткий обзор исследований по использованию годовых колец деревьев для оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды / Т. А. Архангельская, Ю. Л. Замятина // Естественные и технические науки. – 2010. – № 6. – С. 368-369.

14. Архипов И. А. Акташское ртутное месторождение (юго-восточный Алтай) как потенциальный источник поступления ртути в объекты окружающей природной среды/ И. А. Архипов, А. В. Пузанов // Мир науки, культуры, образования. – 2007. – №4. –С. 23–26.

15. Асаналиева Н.А., Дженбаев Б.М., Сариева Н.А. Биогеохимические особенности миграции ртути в природных горных условиях Кыргызстана / Н.А. Асаналиева, Б.М. Дженбаев, Н.А. Сариева // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». –М.: ГЕОХИ РАН. –2010. –С.174 - 177.

16. Ашихмина Т.Я. Аккумуляция ртути растениями из техногенно-нарушенных почв в пойме р. Вятки / Т.Я. Ашихмина, С.Г. Скугорева // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». –Новосибирск: ИНХ СО РАН. – 2015. –С. 35- 38.

17. Бабаев Э.Р. Биологическая утилизация тяжелых металлов / Э.Р. Бабаев, В.М. Фарзалиев, П.Ш. Мамедова и др. // Нефтегазохимия. – №4. – 2015. – С. 49 - 51.
18. Бабошкина С.В. Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Алтая / С.В. Бабошкина, И.В. Горбачев, А.В. Пузанов // Природа.– № 3. – 2007. – С. 60 - 65.
19. Барановская Н. В. Ртуть в рыбе как индикатор техногенеза на территории России / Н. В. Барановская, А. Ю. Барановская, О. А. Капитонова // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 10. – С. 23-31.
20. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем // автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск. 2011. – 46 с.
21. Барановская Н.В. Региональная специфика элементного состава волос детей, проживающих на территории Томской области / Н.В. Барановская, Д.В. Швецова, А.Ф. Судыко// Известия Томского политехнического университета. – Т. 319. – № 1. – 2011.– С. 212-220.
22. Батоян, В. В. Биогеохимическая оценка состояния природной среды (опыт разработки методики регионального анализа) / В. В. Батоян, В. С. Вшивцев, Н. С. Касимов и др. // Труды биогеохимической лаборатории. – М.: Наука, 1990. – Т. 21. – С. 108-125.
23. Башкин, В. Н. Биогеохимия / В. Н. Башкин, Н. С. Касимов //М.: Научный мир. 2004. – 648 с
24. Белозерцева И.А. Загрязнение снега на акватории северной котловины озера Байкал и прилегающей территории /И.А. Белозерцева, И.Б. Воробьева, Н.В. Власова, М.С. Янчук, Д.Н. Лопатина // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 9. – С. 97-103.

25. Беус А.А. Геохимия окружающей среды / А.А. Беус, Л.И. Грабовская, Н.В. Тихонова // М.:Недра. 1976. – 248 с.

26. Биоиндикация: теория, методы, приложения : Коллективная монография / С. В. Викторов, А. С. Викторов, В. А. Терехова [и др.]// Институт экологии Волжского бассейна РАН. – Тольятти : Интер-Волга. 1994. – 266 с.

27. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.П.Мелехова, Е.И.Егорова, Т.И.Евсеева и др.; под ред. О.П.Мелеховой и Е.И.Егоровой. – М. : Издательский центр «Академия». 2007. – 288с.

28. Боев В. А. Ртуть в листовом опаде подтаежных лесов на фоновой территории / В. А. Боев, Н. В. Барановская, В. В. Боев // Известия ТПУ. – 2018. – №8. – Т.139. – С 124-131.

29. Боев В.В. Содержание ртути в дерново-подзолистых фоновых и урбанизированных почвах территорий юго-запада Тюменской области / В.В. Боев, Н.В. Барановская // В сборнике: Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития. материалы XII Международной ландшафтной конференции: в 3 томах. – 2017. – С. 255 - 257.

30. Бондарев Л.Г. Ландшафты, металлы и человек / Л.Г. Бондарев// М.: Мысль. 1976. – 72 с.

31. Буренков Э.К. Эколого-геохимические проблемы ртути / Э.К. Буренков, Е.П. Янин // сб. науч. ст. Рос. АН. Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии, М.: ИМГРЭ. 2000. – 181 с.

32. Бутаков Е. В. Ртуть в почвах агропромышленной зоны г. Зимы (Иркутская область) / Е. В. Бутаков, П. В. Кузнецов, М. С. Холодова, В. И. Гребенщикова //Почвоведение. – 2017. – № 11. – С. 1401-1408.

33. Бутаков Е.В. Ртуть в почвах устьевой части Ангаро-Бельского междуречья (Иркутская область) / Е.В. Бутаков, Р.Х. Зарипов // Сибирский экологический журнал. – 2012. – № 6. – С. 793-802.

34. Валерьева Е.В. Методические особенности пробоподготовки и инструментального определения ртути в донных отложениях, взвешенном веществе речных вод / Е.В. Валерьева, С.С. Эйрих, Е.Г. Ильина, Т.С. Папина // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – № 3-2 (83). – С. 153-158.

35. Вернадский В.И. Биогеохимические очерки : 1922-1932 гг. / В. И. Вернадский // Москва ; Ленинград : Изд-во Акад. наук СССР. 1940. – 249 с.

36. Вернадский В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский // М.:Изд-во АН СССР, 1959 . – Т. 3– 652 с.

37. Вернадский В.И. О биогеохимии / В.И. Вернадский // Современные тенденции развития биогеохимии (Труды Биогеохимической лаборатории, том 25). – М.: ГЕОХИ РАН. – 2016. – С. 7-11.

38. Вернадский В.И. Очерки геохимии/ В.И. Вернадский// 8-е изд. в серии "Библиотека трудов академика В.И. Вернадского. Труды по геохимии." М.: Наука, 1994. – С.159-468.

39. Вернадский, В. И. Очерки геохимии. / В.И. Вернадский // 4-е изд. М.: Наука. 1983. – 422 с.

40. Ветчинникова, Л. В. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях севера / Л. В. Ветчинникова, Т. Ю. Кузнецова, А. Ф. Титов // Тр. Карел. науч. центра РАН. – 2013. – № 3. – С. 68 – 73.

41. Владимиров А.Г. Экогеохимия ртути и способы демеркуризации твердых ртутьсодержащих отходов в условиях Южной Сибири (на примере промплощадки ОАО "Новосибирский завод химконцентратов"). / А.Г. Владимиров, А.В. Бабушкин, И.М. Белозеров, Ю.В. Островский, В.Г. Владимиров, М.Ю. Подлипский, В.А. Минин // Химия в интересах устойчивого развития, 2012. – № 20. – С. 531 - 542.

42. Волостнов А.В. Ртуть в углях Сибири / А.В. Волостнов, С.И. Арбузов, Н.А. Осипова, С.С. Ильенок, Н.В. Купреева // Ртуть в биосфере: эколого-

геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). – М.: ГЕОХИ РАН. 2010. – 477 с.

43. Второва, В. Н. Концентрации химических элементов в растениях и почве и оценка состояния лесных экосистем / В. Н. Второва, Л. Б. Холопова // Лесоведение. – 2009. – № 1. – С. 11-17.

44. Гашкина Н. А. Биогеохимическая миграция элементов в системе “атмосферные осадки–кروновые воды–почвенные воды–озеро” в фоновом регионе (валдайский национальный парк) / Н. А. Гашкина, Т. И. Моисеенко, М. И. Дину, Ю. Г. Таций, Д. Ю. Баранов // Геохимия. – 2020. – Т. 65. – № 7. – С. 693-710.

45. Гелетий В.Ф. Ртуть в поверхностных донных осадках озера Байкал / В.Ф. Гелетий, А.Е. Гапон, Г.В. Калмычков, И.Ю. Пархоменко, С.С. Кострова // Геохимия. – 2005. – № 2. – С. 220-226.

46. Гладышев В.П. Аналитическая химия ртути./ В.П. Гладышев, С.А. Левицкая, Л.М. Филлипова . – М.:Наука. 1974. – 228 с.

47. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М.: Высш.шк.1988. – 328 с.

48. Головки Т.К. Тяжелые металлы в окружающей среде и растительных организмах / Т.К. Головки, Е.В. Гармаш, С.Г. Скугорева // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2008. – № 7 (129) . – С. 2-7.

49. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси и экология человека / К.С. Голохваст, П.Ф. Кику, Н.К. Христофорова // Экология человека. – 2012. – № 10. – С. 5 - 10.

50. Голубев Ф.В. Геохимическая экология растений–перспективное направление биогеохимии / Ф.В. Голубев, В. В. Ермаков // XI Международная биогеохимическая школа. – 2019 г. – С. 26 – 28.

51. Гордеева О. Н. Биогеохимические особенности миграции ртути в системе «Почва - растение» Южного Прибайкалья / О. Н. Гордеева, Г. А.

Белоголова, Л. Д. Андрулайтис // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2012. – №3. –С. 23-32.

52. Гордеева О.Н. Формы ртути в почвах при техногенном загрязнении от различных источников / О.Н. Гордеева, Г.А. Белоголова, М.В. Пастухов // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3(7). – С. 78-84.

53. Гордеева О.Н. Миграция ртути в почвах и растениях техногенных ландшафтов Иркутской области / О.Н. Гордеева, Г.А. Белоголова // Материалы Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов и география почв» (4-6 апреля). – Москва, 2012. –С. 90-93.

54. Горохова А. Г. Содержание ртути в почвах и биологических объектах природных и техногенных территорий / А. Г. Горохова, А. И. Иванов, Н. А. Язынина, С. Е. Ермолаев, М. В. Ферезанова // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – №4.– С.100 -105.

55. Градова Н.Б. Прикладные аспекты геохимической экологии микроорганизмов в решении задач эковиотехнологии / Н.Б. Градова, В.В. Ермаков, Т.В. Гусева, Ю.В. Ковальский, В.И. Панфилов //Биотехнология. – 2020. – Т. 36. – № 6. – С. 107 - 114.

56. Градова Н.Б. Геохимическая экология микроорганизмов и ее значения в развитии современных биотехнологий / Н.Б. Градова, В.В. Ермаков, Ю.В. Ковальский //В книге: Биотехнология: состояние и перспективы развития. Материалы международного форума. Москва, 2020.– С. 308 - 309.

57. Гребенщикова В. И. Повышенные содержания ртути в воде истока реки Ангара: отклики на геодинамические воздействия и сильные землетрясения / В. И. Гребенщикова, М. И. Кузьмин, А. В. Ключевский, В. М. Демьянович, А. А. Ключевская //Доклады российской академии наук. Науки о земле. – 2020.– Т. 491.– № 2.– С.77–81.

58. Гребенщикова В. И. Эколого-геохимическая оценка Иркутско-Ангарской промышленной зоны / В. И. Гребенщикова, П. В. Кузнецов, Н. В. Ефимова, В. Л. Халбаев, М. С. Холодова //География и природные ресурсы. – 2017. – № 3. – С. 56 – 66.

59. Гребенщикова В.И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области / В.И. Гребенщикова // Вода: химия и экология. – 2013. – № 2. – С. 19-25.

60. Гребенщикова В.И. Миграция ртути с атмосферными выпадениями в Прибайкалье / В.И. Гребенщикова, М.В. Пастухова, М.С. Акимова // Геохимия биосферы: докл. Междунар. науч. конф. – М., 2006. – С. 104 - 108.

61. Гребенщикова В.И. Использование геохимического мониторинга для оценки воздействия окружающей среды на экосистему Байкала / В.И. Гребенщикова, М.И. Кузьмин, М.Ю. Суслова// Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАН А.Н. Антипова. Издательство: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук (Иркутск) . – 2019. – С. 399 - 403.

62. Гусев А.И. Биогеохимические индикаторы техногенного загрязнения экосистем горно-рудными предприятиями рудного и Горного Алтая / А.И. Гусев // Записки Горного института. – 2013. – Т.203.– С. 155 - 159.

63. Гусев А.И. Биогеохимические индикаторы накопления тяжелых металлов растениями на горно-рудных предприятиях горного и рудного Алтая / А.И. Гусев, О.И. Гусева // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология .– 2012.– № 1.– С.194-199.

64. Густайтис М. А. Распределение ртути в донных отложениях водных объектов в зоне влияния Урского хвостохранилища / М.А. Густайтис, И.Н. Мягкая, Б.О.Ю. Сарыг-Оол, Е.В. Лазарева // Вестник ВГУ. Серия: Геология.– 2017.– № 4.–С. 114 - 122.

65. Давыдова Н.Д. Распределение техногенной ртути в элементарных ландшафтах юга Восточной Сибири / Н.Д. Давыдова // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. – Семипалатинск: Изд-во Семипалат. пед. ин-та. – 2002. – С. 190-195.

66. Данилова В.Н. Ртуть в плодовых телах макромицетов / В.Н. Данилова, С.Д. Хушвахтова, В.В. Ермаков // Материала международного симпозиума «Ртуть

в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – М.: ГЕОХИ РАН. – 2010. – С. 271 - 275.

67. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер./ В.А. Даувальтер // Мурманск: МГТУ. 2012. – 242 с.

68. Демаков Ю.П. Динамика содержания зольных элементов в годичных слоях старовозрастных сосен, произрастающих в пойменных биотопах / Ю.П. Демаков, С.М. Швецов, В.И. Таланцев, К.К. Калинин // Вестник МарГТУ. – 2011. – № 3. – С. 25 - 35.

69. Дериглазова М. А. Минералого-геохимические особенности зольного остатка организма жителей некоторых городов России как индикатор эколого-геохимической обстановки : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук : спец. 25.00.36 / М. А. Дериглазова ; ТПУ. — Томск, 2020. – 22 с.

70. Дженбаев Б.М. Современное состояние почвенно-растительного покрова ртутной провинции Хайдеркен (Айдеркен) / Б.М. Дженбаев, К. Иматали кызы // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». Отв. д.х.н. Л.М. Левченко, к.т.н. А.А. Галицкий. Новосибирск: ИНХ СО РАН. – 2015. – С. 133 - 134.

71. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние./ В.В. Добровольский. – М.: Мысль. – 1983. – 265с.

72. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник для студ. ВУЗов. – М.: Издательский центр «Академия». 2003. – 400 с.

73. Дорожукова С.Л. Природные уровни ртути в некоторых типах почв нефтегазоносных районов Тюменской области / С.Л. Дорожукова, Е.П. Янин, А.А. Волох // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Вып. 1. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН. – 2000. – С. 157 - 161.

74. Евстафьева Е.В. Содержание ртути в эпифитных лишайниках на территории Республики Крым / Е.В. Евстафьева, А.М. Богданова, Т.С. Большунова, Н.В. Барановская, Н.А. Осипова // Известия Томского

политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 7. – С. 93 – 103.

75. Ен С.Т. Определение наличия ртути в воде, взятой из разных источников Новосибирской области / С.Т. Ен, Н.О. Ким, Н.Е. Ким // В сборнике: Химия и жизнь. Сборник XVII Международной научно-практической студенческой конференции. – 2018. – С. 217 - 222.

76. Ермаков В. В. Вклад в. В. Ковальского в развитие биогеохимии и геохимической экологии / В.В. Ермаков, Ю.В. Ковальский // XI Международная биогеохимическая школа. – Тула: Тул. гос. пед. ун-т им. Л. Н. Толстого. – 2019. – С. 8 – 14.

77. Ермаков В. В. Биогеохимическая индикация микроэлементозов / В. В. Ермаков, С. Ф. Тютиков, В. А. Сафонов . – М.: РАН. 2018. – 386 с.

78. Ермаков В.В. Биогенная миграция и детоксикация ртути / В.В. Ермаков // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – М.: ГЕОХИ РАН. – 2010. – С. 5 - 14.

79. Ермаков В.В. Становление и основные направления биогеохимии / В.В. Ермаков // Посвящено 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2013. – С. 9 - 27.

80. Ершов, Ю.А. Механизмы токсического действия неорганических соединений / Ю.А. Ершов, Т.В. Плетнева. – М.: Медицина. 1989. – 272 с.

81. Ефимова Н. В. Проблемы, связанные с загрязнением ртутью объектов окружающей среды / Н. В. Ефимова, П. В. Коваль, В. С. Рукавишников, И. В. Безгодков // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2005. – № 1(39). – С. 127-133.

82. Жданок А. И. Некоторые результаты математического моделирования загрязнения экосферы города Кызыла дымом ТЭЦ на примере ртути /А. И.Жданок, А. К.-О. Хурума // Природные ресурсы, среда и общество. – 2019. – №4 (4). – С. 63 - 75.

83. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: специальность 25.00.36 "Геоэкология (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Жорняк Лина Владимировна. – Томск, 2009. – 22 с.

84. Жумадилова А. Ж. Пылеудерживающая способность древесных и кустарниковых растений / А.Ж. Жумадилова //Новости науки Казахстана. – 2014. – №. 2 (120). – С. 38 - 48.

85. Захарченко А.В. Влияние природных факторов на содержание ртути в озерах севера Западной Сибири / А.В. Захарченко, О.А. Пасько, А.А. Тигеев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 5. – С. 64 - 76.

86. Зейферт, Д. В. Научные основы биоэкологического мониторинга антропогенных воздействий при разных видах хозяйственной деятельности на примере территории южной промышленной зоны Башкортостана : диссертация ... доктора биологических наук : 03.00.16 / Зейферт Дмитрий Вячеславович; . – Москва, 2011. – 358 с.

87. Зырин Н.Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Н.Г. Зырин, С.Г. Малахов. – М: Московское отделение гидрометеоздата. 1981. –110 с.

88. Иванов В.В Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн.// М.: Экология, кн. 6. 1997. – 607с.

89. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. // М «Экология», кн. 5. 1997. – 576 с.

90. Игнатьева О. В. Элементный состав хвои и морфофизиологические показатели сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения: : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 03.00.16 / Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Красноярск, 2005. – 18 с.

91. Ильин В. Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области/ В. Б. Ильин, А. И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2001. – 229 с.

92. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / М-во геологии СССР. – М., Недра. 1983. – 191 с.

93. Исупова А.А. Количественное определение содержания ртути в лишайнике вида *Physciapul verulenta* на примере промышленного города Междуреченска / А.А. Исупова, А.Р. Ялалтдинова // Экологические проблемы региона и пути их решения: Материалы национальной научно-практической конференции «Эко-BOOM». – Омск: Литера, 2016. – С. 143-147.

94. Кабата Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 1989. – 439 с.

95. Камардина В.В. Оценка уровня содержания ртути в снежном покрове Алтайского края / В.В. Камардина, С.С. Эйрих, Е.Г. Ильина // В сборнике: Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – 2018. – С. 280-283.

96. Кастина Д.К. Ртуть в воде и донных отложениях речной системы Ярлыамры - Чибитка-Чуя (в зоне влияния Акташского горно-металлургического предприятия, Республика Алтай) / Д.К. Кастина, Б.О.Ю. Сарыг-оол, М.А. Густайтис // В сборнике: Наука промышленность оборона. труды XX Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения С.А. Чаплыгина: в 4-х томах. Под редакцией С.Д. Саленко. – 2019. – С. 249-254.

97. Катаяма Ю. Радионуклиды и микроэлементы в годовых кольцах деревьев как индикаторы состояния окружающей среды/ Ю. Катаяма // *Radioisotopes*, 1997. – № 2. – С. 127-128.

98. Кац В.Е. Эколого-геохимическое состояние компонентов окружающей среды в районе Акташского горнометаллургического предприятия и поселка

Акташ // Природные ресурсы Горного Алтая. Бюллетень. – Горно-Алтайск, 2004. – Вып. 2. – С. 69 - 75.

99. Кашин В.К. Ртуть в растениях Забайкалья / В.К. Кашин, Г.М. Иванов //Агрохимия. – 2009. – № 3. – С. 71-75.

100. Кизицкий Р.М, Эколого-геохимические особенности распределения свинца и ртути в донных отложениях: дис. канд. геогр. наук: 11.00.11. - Ростов. гос. ун-т.- Ростов-на-Дону, 2000. – 26 с.

101. Коваль А. Т. Эколого-геохимическая оценка загрязнения ртутью компонентов природной среды Амурской области : диссертация ... кандидата биологических наук : 03.00.16. - Владивосток, 2003. – 186 с.

102. Коваль П. В. Изменение окружающей среды и климата, природные и связанные с ними техногенные катастрофы: ртуть в биогеохимическом цикле Братского водохранилища и экологические последствия ртутного загрязнения / П. В. Коваль, Е. В. Бутаков, М. В. Пастухов, Ю. Н. Удодов // М.: ИФЗ РАН, 2008. – Т. IV. – С. 99 – 121.

103. Коваль П.В. Гидрохимические характеристики поверхностного стока озера Байкал (1997-2003) / П.В. Коваль, Ю.Н. Удодов, Л.Д. Андрулайтис, А.Е. Гапон, О.А. Складорова, С.Е. Чернигова // ДАН. 2005. – Т. 401. – № 5. – С. 663 – 667.

104. Коваль П.В. Ртуть в воде истока р. Ангары: пятилетний тренд концентрации и возможные причины его вариаций / П.В. Коваль, Ю.Н. Удодов, Л.Д. Андрулайтис, В.А. Саньков, А.Е. Гапон // Доклады Академии наук. 2003. – Т. 389. – № 2. – С. 235 - 238.

105. Ковальский В.В. Геохимическая экология : Очерки / АН СССР. Ин-т геохимии и аналит. химии им. В.И. Вернадского. - Москва : Наука, 1974. – 299 с.

106. Колоколова О. В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / О. В. Колоколова ; Российская академия наук (РАН), Сибирское отделение (СО), Институт геологии нефти и газа (ИГНГ) ; науч. рук. С. Л. Шварцев. – Томск, 2003. – 21 с.

107. Копылова, Л. В. Особенности накопления металлов древесными растениями в условиях городской среды¹ / Л. В. Копылова, Е. П. Якимова // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского. – 2011. – № 1(36). – С. 183 - 187.

108. Королева Г. П. Мониторинговые исследования снегового покрова в Прибайкалье // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – № 6. – С. 96 - 100.

109. Королева Г.П. Ртуть в атмосферных осадках городов Приангарья и оз. Байкал / Г.П. Королева, Л.Д. Андрулайтис // Геохимия биосферы: докл. Междунар. науч. конф. – М., 2006. – С. 119 - 123.

110. Королева Г.П. Исследование загрязнения снегового покрова для депонирующей среды (Южное Прибайкалье) / Г.П. Королева, А.Г. Горшков, Т.П. Виноградова, Е.В. Бутаков, И.И. Маринайте, Т.В. Ходжер // Химия в интересах устойчивого развития. – М.: Изд-во СО РАН. – 1998. – № 6. – С. 327-337.

111. Королева Г.П. Оценка экологического состояния городов Приангарья по атмосферным осадкам в зимний и летний периоды / Г.П. Королева, М.С. Холодова // Вестник Иркутского гос. технич. ун-та. Иркутск: Изд-во ИРГТУ, . – 2012. – № 7(66). – С. 60-66.

112. Котов В.С. Эколого-физиологические особенности накопления и распределения ртути в высших растениях : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 03.00.12. - Воронеж, 1991. – 11 с.

113. Кузубова Л.И. Метилртуть в окружающей среде (распространение, образование в природе, методы определения)/ Л.И. Кузубова, О.В. Шуваева, Г.Н. Аношин // Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. – 2000. – С. 1 - 82.

114. Лавров М.С. Влияние применения ртутного электролиза ОАО "Усольхимпром" и "Саянскимпром" на загрязнение геологической среды и вод Братского водохранилища // Тез. докл. междунар. конф. "Проблема ртутного загрязнения природных и искусственных водоемов, способы его предотвращения и ликвидации". Иркутск, 2000. – С. 60.

115. Лавров С.М. Эколого-геохимическая оценка Зиминского района / С.М. Лавров, М.А. Коснарев, О.А. Осипова. – Иркутск: ПГО "Иркутскгеология", 1991. – 173 с.
116. Лапердина Т.Г. Определение ртути в природных водах. Новосибирск "Наука", 2000. – 222 с.
117. Леонова Г. А. Оценка современного экологического состояния озер Атайского края по биогеохимическим критериям // Исследовано в России. . – 2005. – Т. 091
118. Леонова Г.А. Ландшафтногеохимические особенности распределения тяжелых металлов в биологических объектах и донных отложениях озер Алтайского края / Г.А. Леонова, Г.Н. Аношин, В.А. Бычинский, Б.Л. Щербов, В.Д. Страховенко // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43 (12) . – С. 1080 – 1092.
119. Лескова О.А. Накопление тяжёлых металлов в *Populus balsamifera* L. (Забайкальский край) / О.А. Лескова, Л.В. Копылова, Е.П. Якимова // Ученые записки ЗабГГПУ. – 2013. – № 1 (48) . – С. 102 - 107.
120. Летунова С.В. Геохимическая экология микроорганизмов / С.В. Летунова, В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1978. – 147 с.
121. Лисецкая Л. Г. Региональные показатели содержания микроэлементов в волосах детского населения Иркутской области / Л. Г. Лисецкая, Н.В. Ефимова // Гигиена и санитария. – 2016. – С. 266 – 269.
122. Лунина О.В. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития/ О.В. Лунина, А.С. Гладков, Н.Н. Неведрова // Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО» . – 2009. – 316 с.
123. Ляпина Е. Е. Исследование содержания ртути в природных объектах Западной Сибири / Е.Е. Ляпина, Е.А. Головацкая, И.И. Ипполитов //Сибирский экологический журнал, 1. – 2009 . – С. 3 - 8.
124. Ляпина Е.Е. Динамика и особенности накопления ртути хвойными Томской области//В книге: . Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Институт вычислительной математики РАН. 2018. – С. 294 - 298.

125. Ляпина Е.Е. Накопление и распределение ртути в компонентах окружающей среды северо-запада Алтайского края / Е.Е. Ляпина, Е.В. Шворнева // 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.

126. Ляпина Е.Е. Экогеохимия ртути в природных средах Томского региона: автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.36 / Ляпина Елена Евгеньевна; [Место защиты: Том. политехн. ун-т]. – Томск, 2012. – 21 с.

127. Ляпина Е.Е. Содержание ртути в хвое югозапада Прибайкалья / Е.Е. Ляпина, Е.В. Ветрова, Н.Н. Воропай // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31. – № 1. – С. 69 - 72.

128. Ляпина Е.Е. Эколого-геохимические особенности пространственного и профильного распределения ртути в почвах естественных и нарушенных ландшафтов / Е.Е. Ляпина, А.А. Черкашина // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования / Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова.– Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2019. – С. 492-496.

129. 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. – С. 42-42.

130. Ляпина, Е. Е. Распределение форм нахождения ртути в профиле типичных почв Южной Сибири / Е. Е. Ляпина // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 2. – № 2. – С. 130 - 136.

131. Макарова В. Н. Загрязнение атмосферного воздуха урбанизированных территорий / В.Н. Макарова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2016. – № 4 (217). – С. 35 - 42.

132. Максимов М.М. Истоки учения о рудных месторождениях / М.М. Максимов. – Москва: Недра, 1973. – 141 с.

133. Максимов Н.А. Краткий курс физиологии растений/Н.А.Максимов. – М., Сельхозмиздат, 1948 . – 496 с

134. Максимова А.Ю. Содержание ртути в водных растениях семейства рясковые на территории Томского района / А.Ю. Максимов // В сборнике: Проблемы геологии и освоения недр. Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых.– Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2016. – С. 178 - 180.

135. Маликова И.Н. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов / И.Н. Маликова, Г.Н. Аношин и др. // Геология и физика. – 2011. – Т. 52. – № 3. – С. 409 - 425.

136. Маликова И.Н. Свинец, кадмий и ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири / И.Н. Маликова, В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, Ю.И. Маликов, Ж.О. Бадмаева, Л.Д. Иванова // Вестник Томского гос. ун-та. Сер. Науки о Земле (геология, география, метеорология, геодезия). – 2003. – № 3 (V). – С. 176 - 178.

137. Маликова И.Н. Ртуть в почвах и растениях в районе озера Большое Яровое (Алтайский край) / И.Н. Маликова, М.Т. Устинов, Г.Н. Аношин, Ж.О. Бадмаева, Ю.И. Маликов //Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. – № 1. – С. 59 - 66.

138. Маликова И.Н. Ртуть и мышьяк в почвах и растениях оз. Большое Яровое (Алтайский край) / И.Н. Маликова, М.Т. Устинов, Г.А. Леонова, Ж.О. Бадмаева, Н.В. Андросова, Ю.И. Маликов // Материалы V Международной биогеохимической школы. Семипалатинск. – 2005. – С. 153 - 155.

139. Малов В.И. Особенности состава снежного покрова в районе Акташского ртутного месторождения (Улаганский район, республика Горный Алтай) / В.И. Малов, М.А. Густайтис, И.Н. Мягкая, Б.Ю. Сарыг-оол, О.Н. Сурков, Е.В. Лазарева // В сборнике: Геологическая эволюция взаимодействия воды с

горными породами. Сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. Геологический институт СО РАН. Улан-Удэ. – 2020. – С. 242 - 245.

140. Малов А. М. Ртуть как фактор риска для здоровья человека / А. М. Малов, В. К. Сибиряков, Л. А. Муковский, Е. В. Семенов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 5-2. – С. 907-910.

141. Мальгин, М. А. Ртуть в почвах, почвенном и приземном воздухе Алтае-Саянской горной области / М. А. Мальгин, А. В. Пузанов // Химия в интересах устойчивого развития. – 1995. – Т. 3. – № 1-2. – С. 161-173.

142. Малюга, Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений (принцип и практика поисков) / Д. П. Малюга. – М. : АН СССР, 1963. – 264 с.

143. Малюга Д.П. К биогеохимии ртути в почвах и растениях / Д.П. Малюга, Р.Г. Никишина // Биогеохимия растений. Труды бурятского института естественных наук, вып. 2. – 1969. – С. 190 - 194.

144. Межибор А.М. Использование эпифитных мхов для оценки загрязнения атмосферного воздуха ртутью при воздействии предприятий угольной энергетики / А.М. Межибор, В.В. Говоруха // Труды Международной научной конференции молодых ученых и специалистов "Экология энергетики - 2017". – 2017. – С. 28 - 30.

145. Межибор А.М., Рихванов Л.П. Биогеохимическая характеристика мхов *Polytrichum commune* на территории Урского хвостохранилища в Кемеровской области / Межибор А.М. , Л.П. Рихванов // Томский политехнический университет . – 2016. – С.3 -11.

146. Мелехова О.П., Сарапульцева Е.И. Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование. – М.: Издательский центр «Академия». 2008. – 288 с

147. Миронова А.С. Годовые кольца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – индикатор геохимической обстановки и хронологического изменения химического элементного состава окружающей среды / Миронова А.С. и др. //

Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 1. – С. 106 - 116.

148. Моисеенко Т. И. Биоаккумуляция ртути в рыбах как индикатор уровня загрязнения вод / Т. И. Моисеенко, Н. А. Гашкина // ГЕОХИМИЯ. – 2016. – № 6. – С. 495 – 504.

149. Морозова Н. В. Особенности геохимического распределения валового содержания ртути в донных отложениях озер Западной Сибири / Н. В. Морозова, Н. С. Ларина, Т. П. Котова, Д. З. Шайхутдинова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование / главный редактор С. Н. Гашев. – Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та. – 2015. – Т. 1, № 1(1). – С. 65 - 73.

150. Москаленко Н.Н. Биогеохимические особенности зеленых насаждений урбанизированных территорий (на примере г. Москвы): Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. М., 1991. – 24 с.

151. Мубараков Р. Г. Производственное объединение ОАО "Саянскхимпласт" - ведущий производитель ПВХ / Р. Г. Мубараков, Ю. А. Трегер // Пластические массы. – 2012. – № 12. – С. 7 - 9.

152. Наркович Д.В. Влияние техногенеза на формирование элементного состава волос детского населения / Д.В. Наркович, Н.В. Барановская, Е.В. Коваль, Н.П. Корогод // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 8. – С. 116 - 128.

153. Низовцев А.Н. Остаточное загрязнение ртутью техногенно-нарушенной территории национального парка / А.Н. Низовцев, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенок и др. // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 133 - 137.

154. Новиков А.В. Исследование воздействия антропогенного загрязнения среды с помощью растительных тест-объектов / А.В. Новиков, М.Ф. Козак, Ю.С. Чуйков и др. // Астраханский вестник экологического образования. – 2008. – № 1-2. – С. 24 - 31.

155. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений: учеб.пособие. –2-е изд. – СПб.: СПбГУ, 2016. – 299 с.

156. Осипова Н.А. Экогеохимия ртути в почвах и углях юга Кузбасса / Н.А. Осипова, С.И. Арбузов, Е.В. Ткачева, Е.Г. Язиков, Н.П Тарасова // Безопасность в техносфере. – 2018. – Т. 7. – № 1. – С. 20 - 26.

157. Осипова, Н. А. Химические элементы в почвах г. Междуреченска = Chemical elements in soils of Mezhdurechensk / Н. А. Осипова, Е. В. Перегудина, Е. Г. Язиков // Современные проблемы науки и образования . – 2015. – № 1. – 8 с.

158. Очерки геохимии человека / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов и др. ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск :Дельтаплан, 2015. – 377 с.

159. Панин М.С. Химическая экология. Учебник для вузов (Под ред. Кудайбергенова С.Е.). – Семипалатинск: Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, 2002. – 852 с.

160. Панин М.С. Биогеохимия микроэлементов в растительном покрове техногенных ландшафтов Казахстана / М.С. Панин // Проблемы континентальной биогеохимии: Материалы VII биогеохимических чтений, посвященных памяти В.В. Ковальского (Под ред. Ермакова В.В.). М.:ГЕОХИ РАН. – 2006. – С.4 – 35.

161. Пастухов М. В. Распределение ртути в шламонакопителе «Усольехимпром» и его влияние на окружающую среду / М. В. Пастухов, В. И. Полетаева, Е. В Бутаков // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2019. – С. 553 - 556.

162. Пастухов М.В. Экологические аспекты аккумуляции ртути гидробионтами Байкало-ангарской водной системы // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Иркутск, 2012. – 22с.

163. Пастухов М.В. Распределение и аккумуляция ртути в байкальской нерпе / М. В. Пастухов, В. Н. Эпов, Т. М. Чещельский и др. // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2011. – Т. 4. – № 1. – С. 56 - 66.

164. Пахорукова А.И. Изучения аккумуляции ртути растениями из загрязненных субстратов методами атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектрометрии / А.И. Пастухова // Химия: материалы 57-й Международной научной студенческой конференции. – Издательство: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (Новосибирск) . – 2019 . – С.180 -180.

165. Перельман А.И. Изучая геохимию...: (О методологии науки) . – М.: Наука, 1987. – 152 с.

166. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.

167. Петрунина Н.С. Вопросы геохимической экологии растений и биоразнообразия флоры в металлогенических районах Унальской котловины Северной Осетии / Н.С. Петрунина, В.В. Ермаков, С.Ф. Тютиков // Современные проблемы геохимической экологии и сохранения биоразнообразия: материалы международной конференции, Бишкек. – Бишкек. – 2007. – С. 47- 52.

168. Рапуга В.Ф. Численный анализ пространственного распределения ртути в листьях тополя г. Барнаула / В.Ф. Рапуга, Д.В. Юсупов, Т.В. Ярославцева, Л.П. Рихванов, Е.Е. Ляпина // В книге: Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу. Тезисы докладов российской конференции. Под ред. М.В. Кабанова. 2017. – С. 229 - 230.

169. Рихванов Л.П. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиоэкологической ситуации/ Л.П. Рихванов // ТПУ.-Томск: Дельтаплан, 2015. – 148с.

170. Рихванов Л.П. Изучение уровня и динамики накопления делящихся радионуклидов в годовых кольцах деревьев / Л.П. Рихванов, Т.А. Архангельская, В.Д. Несветайло // Геохимия, 2002.– №11.– С.1238 - 1245.

171. Рихванов Л.П. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиозоологической ситуации/ Л.П. Рихванов, Т.А. Архангельская, Ю.Л. Замятина // Томск: Дельтаплан, 2015. – 148 с.

172. Рихванов Л.П. Химический элементный состав органов и тканей человека и его экологическое значение / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова, А.Ф. Судыко, Г.П. Сандимирова, Н.Н. Пахомова // Геохимия. – 2011. – № 7. – С. 779 - 784.

173. Рихванов Л.П. Эманации ртути Байкальского рифта по данным изучения годовых колец деревьев (на примере тункинской впадины) / Л.П. Рихванов, Е.Е. Ляпина, Д.В. Юсупов, Е.М. Турсуналиева, А.А. Павлова // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 496. – № 1. – С. 30 - 35.

174. Рихванов Л.П. Ртуть в почвах Томского региона / Л.П. Рихванов, Н.А. Осипова, Л.А. Петрова // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – 477 с.

175. Рихванов Л.П. Элементный состав листвы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбасистем / Л.П. Рихванов, Д.В. Юсупов, Н.В. Барановская, А.Р. Ялалтдинова//Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – № 6. – С. 58 - 63.

176. Рихванов Л.П. Содержание тяжелых металлов в почвах / Л.П. Рихванов, Е.Г. Языков, С.И. Сарнаев. – Томск: Изд - во Томский политехнический ун - т, 1993. – 85с.

177. Риш М.А. Геохимическая экология животных и генетические проблемы. Биологическая роль микроэлементов / М.А. Риш (Под ред. Ковальского В.В. и Воротницкой И.Е.) . – М.: Наука. –1983. – С.17 - 28.

178. Робертус Ю.В. Особенности ртутного загрязнения окружающей среды в районе Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай)/ Ю.В. Робертус, А.В. Пузанов, Р.В. Любимов //География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 48 - 55.

179. Робертус Ю.В. Дендрогеохимическая индикация трансграничных переносов экотоксикантов на территорию Алтая / Ю.В. Робертус, Л.П. Рихванов, Р.В. Любимов // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 173 - 177.

180. Робертус Ю.В. Формы нахождения и переноса ртути в компонентах экосистем Горного Алтая / Ю.В. Робертус, Л.П. Рихванов, Е.Е. Ляпина, Р.В. Любимов, Д.В. Юсупов, Н.А. Осипова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2018. – Т. 26. – № 2. – С. 185 - 192.

181. Робертус Ю.В. Индикация компонентами природной среды трансграничного переноса загрязняющих веществ на территорию Горного Алтая / Ю.В. Робертус, В.Н. Удачкин, Л.П. Рихванов, Д.В. Юсупов, А.В. Кивацкая, Р.В. Любимов // Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327. – № 9. – С. 39 - 48.

182. Рогова Н.С. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнений атмосферы / Н.С. Рогова, Н.К. Рыжакова, А.Л. Борисенко, В.Г. Меркулов // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – С. 79–83.

183. Рождественская С.О. Некоторые особенности Акташского ртутного месторождения и комбината на окружающую природную среду / С.О. Рождественская, Л.К. Садовникова, Г.Н. Василенко, В.С. Болденков // Сб.научн.тр.Гидропроекта. – 1990. – № 144. – С.164 - 168.

184. Рождественская Т. А. Ртуть в почвах Алтае-Саянской горной страны / Т. А. Рождественская и др. // Почвоведение-продовольственной и экологической безопасности страны. – 2016. – С. 313 - 315.

185. Ртуть: экологические аспекты применения (гигиенические критерии состояния окружающей среды, 86). – Женева: ВОЗ, 1992. – 127 с

186. Руш Е.А. Разработка технологии очистки поверхностного стока предприятия) «Усольехимпром» (Южное Прибайкалье) / Е.А. Руш, П.В. Коваль, Ю.Н. Удодов, Г.П. Королева, А.Е. Гапон, Л.Д. Андрулайтис // Инженерная экология. – 2007. – № 5. – С. 3.

187. Сабинин, Д. А. Физиологические законы питания растений / Д. А. Сабинин. – М., 1955. – 512 с.

188. Сагателян А.К. Ртуть в окружающей среде Армении / А.К. Сагателян, Л.В. Саакян, О.А. Беляева // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». Отв. д.х.н. Л.М. Левченко, к.т.н. А.А. Галицкий. – Новосибирск: ИНХ СО РАН. – 2015. – С. 309 - 314.

189. Сает Ю. Е. Геохимия окружающей среды/Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др.— М.: Недра, 1990.—335 с.

190. Сауков, А.А. Геохимия ртути / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин, Р. С. Смирнова // Тр. ИГН АН СССР, 1946. –Вып. 74. – 128 с.

191. Седых Е. С. Ртуть в почвах Усольского промышленного района (Верхнее Приангарье) / Е. С. Седых, Р. Х. Зарипов // Сиб. экол. журн. – 2002. – № 1. – С. 21 – 28.

192. Скворцов В.А. Мониторинг ртути из снежного покрова вблизи предприятий химической промышленности / В.А. Скворцов, К.В. Чудненко // Известия Иркутского государственного университета.Серия: Науки о Земле. – 2010. – Т. 3. – № 2. – С. 156 - 166.

193. Скугорева С. Г. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината / С. Г. Скугорева, Т. А. Адамович, А. С. Олькова и др. // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2012. – № 3. – С. 30 - 37.

194. Смирнов В.И. Геология ртутных месторождений Средней Азии/ В.И. Смирнов – М.: Госгеолтехиздат, 1974. – 80с.

195. Смирнов В.И. Металлогения ртути/ В.И. Смирнов, В.А. Кузнецов, В.П. Федорчук и др. – Москва : Недра, 1976 г. – 256 с.

196. Смирнов А. Г. Влияние малых концентраций ртути на центральную нервную систему / А. Г. Смирнов, М. Л. Чухловина, В. Д. Жарская, Е. А. Корсакова // Гигиена и санитария. – 1998. – № 2. – С. 51 - 54.

197. Соболев, М.Б. Методы оценки и снижения токсического действия ртути в дозах малой интенсивности у детей. Дисс. на . на соис. уч. степ. канд. мед. наук. –СПб., 1999. – 145 с.

198. Страховенко В.Д. Геохимия ртути в донных отложениях континентальных озер Сибири / В.Д. Сраховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Маликова // Материала международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – М.: ГЕОХИ РАН. – 2010. – С. 236 - 241.

199. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н. Сравнительный анализ распределения ртути в озерных системах различных регионов Сибири / В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Маликова //Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума. – М.: ГЕОХИ РАН. – 2010. – 427 с.

200. Страховенко В.Д. Распределение ртути в компонентах окружающей среды Сибири / В.Д. Страховенко, И.Н. Маликова, Б.Л. Щербов // Химия в интересах устойчивого развития . – 2012. – С.117 - 123.

201. Страховенко, В.Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озер Сибири: Автореф. дис. ...д-ра геол.-минер. наук. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2011. – 33 с.

202. Сухенко С.А. Ртуть в бассейне реки Катунь: пример проявления природного источника загрязнения / С.А. Сухенко, О.Ф. Васильев // Химия в интересах устойчивого развития– 1995. – Т. 3. – №1 - 2.– С. 127 - 141.

203. Сысо А.И. Химические элементы и их соединения в почвах и растениях нативных и антропогенных экосистем Сибири/ А.И. Сысо, Т.И. Сиромля //В сборнике: Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах. материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. – 2018. – С. 137 - 150.

204. Таловская А.В. Ртуть в пылеаэрозолях на территории г. Томска / А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Н.А. Осипова, Е.Г. Языков //Безопасность в техносфере. – 2012. – № 2. –С.30 - 34.

205. Тарасова Е.Н. Ртуть в атмосферном воздухе фоновых районов Иркутской области: уровни, оценка риска / Е.Н. Тарасова, Е.А. Мамонтова, Л.Д. Андрулайтис // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – 477 с.

206. Тас-оол Л. Х. Загрязнение снежного покрова территории г. Кызыла / Л. Х. Тас-оол, Н. Н. Янчат, А. И. Жданок, С. А. Чупикова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2014. – № 6. – С. 507 -517.

207. Татарникова, В. Ю. Древесные растения и городская среда / В. Ю. Татарникова, О. Дашиева // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – № 23. – С. 191 - 194.

208. Таусон В.Л. Новые методы исследования форм нахождения рудных элементов в минеральном веществе / В.Л. Таусон // Геохимические процессы и полезные ископаемые. – Вестник ГеоИГУ. – 2000. – № 2. – С. 117 - 128.

209. Таусон В.Л. Уровни содержания, характер распределения и формы нахождения ртути как индикаторы источников ртутного загрязнения природной среды / В.Л. Таусон, В.Ф. Гелетий, В.И. Меньшиков // Журнал Химия в интересах устойчивого развития.– 1995. – № 3.– С. 151 - 159.

210. Таций Ю.Г. Метод термодесорбции как способ определения твердофазных форм ртути. Реальные возможности / Ю.Г. Таусон // Ртуть в биосфере: эколого-гео-химические аспекты. Мат. межд. симп.– М.: ГЕОХИ РАН.– 2010.– С. 31 - 37.

211. Таций, Ю. Г. Ртуть в волосах человека / Ю. Г. Таций // Ртуть и другие тяжелые металлы в экосистемах. Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде : Тезисы Всероссийской научной конференции и школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов, / Отв. ред. Е.С. Иванова.–Череповец: Череповецкий государственный университет.– 2018. – С. 61.

212. Таций Ю.Г. Донные отложения арктических озер западной сибери как индикаторы изменений окружающей среды / Ю.Г. Таций, Т.И. Моисеенко, Л.В.

Разумовский, А.П. Борисов, В.Ю. Хорошавин, Д.Ю. Баранов //Геохимия. – 2020. – Т. 65. – № 4. – С. 362 - 378.

213. Таций Ю.Г. Ртуть в почвах в зоне влияния металлургических комбинатов / Ю.Г. Таций, В.Н. Удачин // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Тезисы докладов VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора В.В. Никонова . – 2019. – С. 88 - 89.

214. Таций Ю.Г. Экогеохимия ртути в зоне действия выбросов медеплавильного комбината "Карабашмедь" / Ю.Г. Таций, В.Н. Удачин, П.Г. Аминов //Геохимия. – 2017. – № 10. – С. 942 - 953.

215. Ткалич С.М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений/ С.М. Ткалич. – М:Госгеолтехиздат, 1952. – 52с.

216. Трахтенберг И. М. Ртуть как глобальный химический загрязнитель / И. М. Трахтенберг, М. И. Коршун, К. П. Козлов // Токсикологический вестник. – 2006. – № 3. – С. 2 - 8.

217. Уфимцева М.Д. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт Петербурга/ М.Д. Уфимцева, Н.В. Терехина. – С.П.: Наука, 2005. – 339 с.

218. Уфимцева М. Д. Экофитоиндикация урбанизированных геосистем / М. Д. Уфимцева, Н. В. Терехина, С. А. Банарь // Вестник Санкт -Петербургского университета. – 2008. – Сер. 7. – Вып. 4. – С.121 – 129.

219. Фалалеев Ю.А. Результаты эколого-геохимических исследований в районе пос. Акташ и промзоны Акташского рудника – Майма: ОФ ОАО «Алтай-Гео», 1992.

220. Фурсов В.З. Виды нахождения ртути в горных породах, ореолах месторождений и на участках антропогенного загрязнения / В.З. Фурсов // Эколого-геохимические проблемы ртути (сборник научных статей). – М.: ИМГРЭ. – 2000. – С. 109 - 125.

221. Фурсов В.З. Оценочные содержания ртути в атмосфере от кембрия до современной эпохи / В.З. Фурсов // Экологическо-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ. – 2000. – С. 4 - 11.
222. Фурсов В.З. Загрязнение компонентов среды Москвы ртутью и другими химическими элементами / В.З. Фурсов // Разведка и охрана недр. – 2012. – №7. – С.13 - 17.
223. Химическая энциклопедия. – Издательство Советская энциклопедия. – М., 1990. – Т. 2. – 673 с.
224. Холявко В.С. Дендрология и основы зеленого строительства/ В.С. Холявко, Д.А. Глоба-Михайленко. – Москва: Высшая школа, 1976. – 238 с.
225. Чегринцев С.Н. Атомно-абсорбционный анализ: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Физико-химические методы анализа» для студентов IV курса, обучающихся по направлению 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики» / С.Н. Чегринцев // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 44 с.
226. Чуйков Ю.С. Оценка качества городской среды по состоянию тополя черного (*Populus nigra*) / Ю.С. Чуйков, Х.Ш. Тахшина // Проблемы региональной экологии и природопользования Естественные науки. – 2012. – № 4. – С. 48 - 57.
227. Шарыгин С.А. Живые индикаторы и геохимическая экология. Человек и элементы / С.А. Шарыгин, Л.Н. Павлова. – Л.: Гидрометеиздат. – 1989. – С. 212 - 213.
228. Шаршенова, А. А. Гигиеническая оценка ртути в объектах окружающей среды / А. А. Шаршенова, Г. Б. Усонкулова, А. О. Железняк // Здравоохранение Кыргызстана. – 2016. – № 2. – С. 42 - 48.
229. Шахова Т. С. Оценка ртутного загрязнения в окрестностях предприятий нефтехимического комплекса в зимний период (на примере г. Павлодара, Республика Казахстан) / Т. С. Шахова, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков, Е. А. Филимоненко, Е. Е. Ляпина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 12. – С. 16 – 25.

230. Швецова Д.В. Ртуть в волосах детей Томской области / Д.В. Швецова, Н.В. Барановская, Н.П. Корогод // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – 477 с.

231. Шевырев, Л. Т. Закономерности в распределении летучих элементов в поверхностной оболочке земли: вероятная историко-минерогенетическая интерпретация. Статья 1. ртуть / Л. Т. Шевырев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2013. – № 2. – С. 106-117.

232. Шиманюк А.П. Дендрология / А.П. Шиманюк. – Москва: Лесная промышленность, 1974. – 264 с.

233. Шиятов С.Г. Методы дендрохронологии / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов, В.Б. Круглов, В.С. Мазепа, М.М. Наурзбаев, Р.М. Хантемиров // Учебно-методич. пособие. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.

234. Щербов Б.Л. Загрязнение окружающей среды токсичными элементами после эксплуатации золоторудного месторождения Урское (Кемеровская область) / Б.Л. Щербов, И.Н. Щербакова, Е.В. Лазарева, А.А. Богуш, М.А. Густайтис // Докл. V Международной научно-практич. конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде». Семей. – 2008. – Т. 3. – С. 21 -29.

235. Экспериандова Л. П. Еще раз о пределах обнаружения и определения / Л. П. Экспериандова, К. Н. Беликов, С. В. Химченко, Т. А. Бланк // Журнал аналитической химии. – 2010. – Т. 65. – № 3. – С. 229-234.

236. Юсупов Д.В. Ртуть в листьях тополя на урбанизированных территориях Юга Сибири и Дальнего Востока / Д.В. Юсупов, Л.П. Рихванов, Ю.В. Робертус, Е.Е. Ляпина, Е.М. Турсуналиева, Н.В. Барановская, Н.А. Осипова // Экология и промышленность России – 2018. – Т. 22. – № 12. – С. 56 - 62.

237. Юсупов, Д. В. Геохимия накопления металлов в донных отложениях озер Благовещенска / Д. В. Юсупов, А. А. Могилев, Р. В. Тростянок // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2013. – № 61. – С. 70 - 75.

238. Ягольнищев М.А. Оценка промышленной эмиссии ртути в Сибири / М.А. Ягольнищев, В.М. Соколов, А.Д. Рябцов и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 1995. – Т.3. – № 1-2. – С.23 - 25.

239. Якубович Е. А. Использование эпифитных мхов для оценки загрязнения окружающей среды ртутью на примере окрестностей города Томска / Е. А. Якубович // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых Томск. – Томск : Изд-во ТПУ. – 2018. – Т. 1. – С. 879 - 880.

240. Янин Е.П. Добыча и производство ртути в СНГ как источник загрязнения окружающей среды / Е.П. Янин // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ. – 2000. – С. 38 - 59.

241. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города / Е. П. Янин. – Рос. акад. наук, Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. – М. : ИМГРЭ, 1992. – 167 с.

242. Abreu S. N. Tree rings, *Populus nigra* L., as mercury data logger in aquatic environments: case study of an historically contaminated environment / S. N. Abreu, A. M. V. M. Soares, A. J. A. Nogueira, F. Morgado // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 80 (3). – 2008. – P. 294 - 299.

243. Al-Khashman, O. A. Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaves as biomonitors of atmospheric metal pollution in arid and semi-arid environments/ O. A. Al-Khashman , A. H. Al-Muhtaseb, K. A. Ibrahim // Environmental Pollution. – 2011. – № 159. – P. 1635 - 1640.

244. Asgari, K. Biomonitoring of trace element in air and soil pollution by using *Acacia* / K. Asgari, H. Amini // Journal of Research in Agricultural Science. – 2011. – № 7(2). – P. 115 - 124.

245. Assad M. Mercury uptake into poplar leaves / M. Assad, J. Parelle, D. Cazaux, F. Gimbert, M. Chalot, F. Tatin-Froux // Chemosphere. – 2016. – Vol. 146. – P. 1-7.

246. Bacci E. Mapping mercury vapours in an abandoned cinnabar mining area by azalea (*Azalea indica*) leaf trapping / E. Bacci, C. Gaggi, M. Duccini, R. Bargagli, A. Renzoni // *Chemosphere*. – № 29. – 1994. – P. 641-656.

247. Baranovskaja N. Trace elements in composition of biosubstrates of people living in a district of the nuclear plant of Russia / N. Baranovskaja, L. Rikhvanov // *Macro and Trace Element: 21 Workshop*. Friedrich Schiller University Jena. – 2002. – P.1266 - 1270.

248. Bargagli, R. The elemental composition of vegetation and the possible incidence of soil contamination of samples / R. Bargagli // *The Science of the Total Environment*. – 1995. – Vol. 176. – P. 121 - 128

249. Bargagli R. Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmeliacapitata* in a former mining district in Italy/ R. Bargagli, F. Monaci , F. Borghini, F. Bravi , C. Agnorelli // *Environmental Pollution*. – 2002. – № 116(2) . – P. 279 - 287.

250. Bi C. Heavy metals and lead isotopes in soils, road dust and leafy vegetables and health risks via vegetable consumption in the industrial areas of Shanghai, China/ C. Bi // *Science of the Total Environment*. – 2017– P. 1346 - 1357.

251. Bindler R. Tree rings as Pb pollution archives? A comparison of $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotope ratios in pine and other environmental media / R. Bindler, I. Renberg, J. Klaminder, O. Emteryd // *Science of The Total Environment* – V. 319 (1) . – 2004 . – P. 173 – 183.

252. Bowen N. J. M. Trace elements in biochemistry/ N. J. M. Bowen . – London - New York: Academic Press, 1966. – 241p.

253. Bowen N.J.M. Environmental chemistry of the elements/N.J.M. Bowen.– L.etc.: Academic Press, 1979. – 333p.

254. Cataldo, D. A. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants / D. A. Cataldo, R. E. Wildung // *Environmental Health Perspectives*. – 1978. – № 27. – P. 149-159.

255. Chrzan, A. Necrotic bark of common pine (*Pinus sylvestris* L.) as a bioindicator of environmental quality/ A. Chrzan // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2014. –№ 2(22) . – P. 1066 - 1071.

256. Clackett S.P. 400-Year record of atmospheric mercury from tree-rings in northwestern Canada/ S.P. Clackett, T.J. Porter, I. Lehnerr // *Environ. Sci. Technol.* – 2018 .– № 52.– P. 9625 – 9633.

257. Dadea, C. Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: A review with special regard to heavy metals / C. Dadea, A. Russo, M. Tagliavini, T. Mimmo, S. Zerbe // *Arboriculture and Urban Forestry*. –2017. – V. 43(4) . –P. 155-167.

258. Deu M. Seasonal variations of foliar metal content in three fruit tree species / M. Deu, K. H. Kreeb // *Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. – Weinheim : VCH, 1993. – P. 577 - 591.

259. Eccles K.M. A continental and marine-influenced tree-ring mercury record in the Old Crow Flats, Yukon, Canada / K.M. Eccles, H. Majeed, T.J. Porter, I. Lehnerr // *ACS Earth Sp. Chem.* – 2020.

260. Ericksen J.A. Foliar exchange of mercury as a function of soil and air mercury concentrations / J.A. Ericksen, M.S. Gustin // *Sci. Total Environ.* – 2004 . – № 324. – P. 271-279.

261. Ericksen J.A. Accumulation of atmospheric mercury in forest foliage / J.A. Ericksen, M.S. Gustin, D.E. Schorran, D.W. Johnson, S.E. Lindberg, J.S. Coleman // *Atmos. Environ.* – № 37. – 2003. – P. 1613-1622.

262. Esteban E. Short and long-term uptake of Hg in white lupin plants: kinetics and stress indicators / E. Esteban, E. Moreno, J. Peñalosa, J.I. Cabrero, R. Millán, P. Zornoza//*Environ. Exp.Bot.* –№ 62. –2008. –P. 316 – 322.

263. Fantozzi F. Holm oak (*Quercus ilex* L.) canopy as interceptor of airborne trace elements and their accumulation in the litter and topsoil / F. Fantozzi, F. Monaci, T. Blanusa, R. Bargagli // *Environ. Pollut. Sel. Pap. Urban Environ. Pollut* . – 2013 . – № 183. – P. 89 – 95.

264. Fitzgerald W.F., Lamborg C.H. Geochemistry of mercury in the environment *Treatise Geochem.*—№ 11. – 2014. – P. 91 – 129.

265. Fleck J.A. Mercury uptake by trees: an observational experiment / J.A. Fleck, D.F. Grigal, E.A. Nater // *Water, Air, Soil Pollut.* – № 115. – 1999. – P. 513-523.

266. Ghotra A. Tree-ring inferred atmospheric mercury concentrations in the Mackenzie Delta (NWT, Canada) peaked in the 1970s but are increasing once more / A. Ghotra, I. Lehnerr, T.J. Porter, M.F.J. Pisaric // *ACS Earth Sp. Chem.* –№ 4. – 2020. – pp. 457 – 466.

267. Grandjean P. Mercury /K. Heggenhougen (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health* (second ed.), Elsevier, Amsterdam, 2017. – P. 110 - 116.

268. Gordeeva O.N. Mercury speciation and mobility in soils of industrial areas in the Baikal region, southern Siberia, Russia / O.N. Gordeeva, G.A. Belogolova, M.V. Pastukhov // *Environmental Earth Sciences.* – 2017. – V. 76. – № 16. – C. 558.

269. Gustin Ericksen J.A. Application of controlled mesocosms for understanding mercury air–soil–plant exchange / J.A. Gustin Ericksen, D.E. Schorran, D.W. Johnson, S.E. Lindberg, J.S. Coleman // *Environ. Sci. Technol.* – 2004. – №38.– P. 6044-6050.

270. Higuera P. Time and space variations in mercury and other trace element contents in olive tree leaves from the Almadén Hg-mining district / P. Higuera, J.A. Amorós, J.M. Esbrí, F.J. García-Navarro, C. Pérez de los Reyes, G. Moreno // *Journal of Geochemical Exploration.* – 2012. – № 123.– P. 143-151.

271. Higuera P. Mercury transfer from soil to olive trees. A comparison of three different contaminated sites / P. Higuera, J.A. Amorós, J.M. Esbrí, C. Pérez-de-los-Reyes, M.A. Lopez-Berdonces, F.J. García-Navarro // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2015. – P. 1 - 7.

272. Jiang Y. Mosses are better than leaves of vascular plants in monitoring atmospheric heavy metal pollution in urban areas./ Y. Jiang, M. Fan, R. Hu, J. Zhao, Y. Wu // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* – 2018. – 15(6). – 1105.

273. Jung R. Distribution of mercury concentrations in tree rings and surface soils adjacent to a phosphate fertilizer plant in Southern Korea / R. Jung, A.Y. Sang // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* – 2017. – № 99.– P. 253-257.

274. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, fourth ed. CRC Press, BocaRaton, USA, 2011. – 505 p.

275. Kang H. Increased mercury pollution revealed by tree rings from the China's Tianshan Mountains / H. Kang, X. Liu, J. Guo, G. Xu, G. Wu, X. Zeng, B. Wang, S. Kang // *Science Bulletin.* – 2018. – № 63.– P.1328 -1331.

276. Kanga H. Characterization of mercury concentration from soils to needle and tree rings of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) of the middle Tianshan Mountains, northwestern China/ X. Liua, Guoa J., B. Wanga, G.Xua, G.Wua, Sh. Kanga, J. Huangf // *Ecological Indicators.* – 2019. – № 104.– P. 24 -31.

277. Kiss T. Environmental status of a city based on heavy metal content of the tree-rings of urban trees: case study at Szeged, Hungary/ T. Kiss, I. Fekete, I. Tápai // *Journal of Environmental Geography.* – 2019. – V. 12 (1–2). – P. 13 - 22.

278. Kovács, M. Element composition of the leaves of some deciduous trees and the biological indication of heavy metals in an urban-industrial environment /M. Kovács, J. Podani, P. Klincsek et al. // *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae.* – 1981. – Vol. 27. – P. 43 - 52.

279. Lindqvist O. Mercury in the Swedish environment - Recent research on causes, consequences and corrective methods / O. Lindqvist, K. Johansson, L. Bringmark et al. // *Water, Air, & Soil Pollution.* – 1991. – Vol. 55. – No 1-2. – P. xi-261.

280. Little, P. Biological monitoring of heavy metal pollution / P. Little, M. H. Martin // *Environmental Pollution.* – 1974. –Vol. 6. – I. 1. – P. 1 - 19.

280. Maillard F. Dendrochemical assessment of mercury releases from a pond and dredged-sediment landfill impacted by a chlor-alkali plant / F. Maillard, O. Girardclos, M. Assad et al. // *Environmental Research.*– 2016. – № 148.– P. 122 - 126

281. Markert B.A. Definitions, strategies and principles for bioindications/biomonitoring of the environment/ B.A. Markert, A.M. Breure, H.G

Zechmeister// Environmental Pollution. –Trace Metals and other Contaminants in the Environment.– 2003. – P. 3 - 39.

282. Millhollen A.G. Foliar mercury accumulation and exchange for three tree species/ A.G. Millhollen, M.S. Gustin D. Obrist // Environ. Sci. Technol. – 2006. – № 40.– P. 6001 - 6006.

283. Millhollen A.G.Mercury accumulation in grass and forb species as a function of atmospheric carbon dioxide concentrations and mercury exposures in air and soil / A.G. Millhollen, D. Obrist, M.S. Gustin // Chemosphere.– 2006.– № 65.– P. 889 - 897.

284. Molina J.A. Mercury accumulation in soils and plants in the Almadén mining district, Spain: one of the most contaminated sites on Earth / J.A. Molina, R.Oyarzun, J.M. Esbrí, P. Higuera // Environ. Geochem. Health.– 2006.– № 28.– P. 487-498.

285. Monad F. Biomonitors as a tool to evaluate trace element deposition in complex urban environments / F. Monad, Bargagli R. // Proceedings of the 10th World Clean Air Congress, Helsinki. – 1995. – P.238-241.

286. Munteanu V. Biomonitoring of mercury pollution: A case study from the Dniester River / V. Munteanu, G.Munteanu // Ecological Indicators 7.– 2007.– P. 489 - 496.

287. Navrátil T. The history of mercury pollution near the Spolana chlor-alkali plant (Neratovice, Czech Republic) as recorded by Scots pine tree rings and other bioindicators / T. Navrátil, M. Šimeček, J.B. Shanley, J. Rohovec, M. Hojdová, J. Houška // Sci. Total Environ– 2017.– № 586.– P. 1182-1192.

288. Norouzi S. Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. / S. Norouzi, H. Khademi, A. Faz Cano, J. A. Acosta //Ecological Indicators.–2015.– 57.– P. 64-73.

289. Rajfur M. Assessment of the possibility of using deciduous tree bark as a biomonitor of heavy metal pollution of atmospheric aerosol / M. Rajfur // Environmental Science and Pollution Research,26.– 2019.– 35945-35956.

290. Pavlović, M. Evaluation of urban contamination with trace elements in city parks in Serbia using pine (*Pinus nigra* Arnold) needles, bark and urban topsoil/ M. Pavlović, D. Pavlović, O. Kostić, S. Jarić, D. Čakmak, P. Pavlović//International Journal of Environmental Research.– 2017.– № 11.– P. 625-639.

291. Plant J. Regional geochemical mapping and interpretation in Britain / J. Plant, N. Moore // Phil. Trans. Roy. Soc. Londom.– 1979.– V. 288.– P. 95 - 112.

292. Provisional geochemical atlas of Northern Ireland. Oxford: Clarendon press, 1973.– 47 p.

293. Purves D. Trace-element contamination of the environment. Amsterdam: Elsevier Science Ltd, 1977.– 260 p.

294. Rea A.W. Mercury accumulation in foliage over time in two northern mixed-hardwood forests / A.W. Rea, S.E. Lindberg, T. Scherbatskoy, G.J. Keeler // Water. Air. Soil Pollut.– 2002.– 133.–P. 49-67.

295. Reimann C. Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist / C. Reimann, P. Caritat// Geological Magazine.–2000.–P. 593 - 598.

296. Roberts S. Mercury loading within the Selenga River basin and Lake Baikal, Siberia / S. Roberts, J.K. Adams, A.W. Mackay, G.E.A. Swann, S. McGowan, N.L. Rose, V. Panizzo, H. Yang, E.Vologina, M. Sturm, A.A. Shchetnikov // Environmental Pollution . – 2020. – V. 259. – P. 113814.

297. Rühling, A. An ecological approach to the lead problem / A. Rühling, G. Tyler // Botaniska Notiser. – 1968. – Vol. 121. – P. 321 - 342.

298. Safonov V.A., Danilova V. N., Ermakov V. V., Vorobyov V. I. Mercury and methylmercury in surface waters of arid and humid regions, and the role of humic acids in mercury migration / V. A. Safonov, V. N. Danilova, V. V. Ermakov, V. I. Vorobyov // Periodico Tche Quimica. – 2019. – Vol. 16. – № 31. – P. 892 - 902.

299. Sawidis T. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities / T. Sawidis, J. Breusteb, M. Mitrovicc, P. Pavlovicc, K. Tsigaridasa //Environmental Pollution.– 2011.– 159.– 12.– P. 3560-3570.

300. Schneider L. Using tree rings to track atmospheric mercury pollution in Australia: the legacy of mining in Tasmania/ L. Schneider, K. Allen, M. Walker, C. Morgan, S. Haberle // *Environ. Sci. Technol.*, 53.– 2019.– P. 5697-5706.
301. Song, Y. Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution/ Y. Song, B. A. Maher, F. Li , Xi Wang, Xi Sun, H. Zhang, // *Atmospheric Environment*.– 2015.– № 105.– P. 53-60.
302. Stock A. Die Gefährlichkeit des Quecksilberdampfes und der Amalgame. SonderAbdruck aus *Medizinische Klinik*.– 1926.– № 32/33.– P.1-17.
303. Stock, Alfred, and Cucuel, Friedrich The distribution of mercury: *Naturwissenschaften*.– V. 22.– P. 390-393
304. Clackett S. The tree-ring mercury record of Klondike gold mining at Bear Creek, central Yukon / S. Clackett, T. J. Porter, I. Lehnherr // *Environmental Pollution* . – V.268 (B). – 2021. – P. 115777.
305. Clackett S. 400-Year Record of Atmospheric Mercury from Tree-Rings in Northwestern Canada / S. Clackett, T. J. Porter, I. Lehnherr // *Environ. Sci. Technol.* . – 2018. –№ 52 (17).– P. 9625 - 9633.
306. Szwalec A. Variation in heavy metal content in plants growing on a zinc and lead tailings dump / A. Szwalec, A. Lasota , R. Kędzior , P.Mundał // *Applied Ecology and Environmental Research*.– 2018.– 16(4) .– P. 5081-5094.
307. Tatsy Yu.G. On Applicability of human hair as a bioindicator for environmental mercury pollution / Yu.G. Tatsy // *Tyumen State University Herald*.– 2013.– № 12.– P. 131-136.
308. Thornton I. Regional geochemical mapping and health in the United Kingdom / I. Thornton, J. Plant // *J. Geol. Soc.*– 1980.– V. 137.– № 5.– P. 575 - 586.
309. Thornton I. Aspects of geochemistry and health in the United Kingdom I. Thornton, J.S. Webb // *Origin and Distrib. Elem. Proc. 2nd Symp.*, Paris, 1977. Oxford e. a. .– 1979.– P. 791 - 805.
310. Underwood E.J. Trace elements in human and animal nutrition. N.Y. etc.: Acad. Press, 1977.– 245 p.

311. Vasilie O.F. Mercury as a pollutant in Siberia: sources, fluxes and a regional budget/ O.F. Vasilie, A.A. Obolenskiy, M.A. Yagolnitser // *The Science of the Total Environment* .– 1998.– 213.– P. 73 - 84

312. Wang Z.J. Measurement and Scaling of Mercury on Soil and Air in a Historical Artisanal Gold Mining Area in Northeastern China / Z.J. Wang, G. Zhang, X.B. Chen, Q.J. Zhao, W.Y. Wang, L.X. Sheng, H.F. Bian, Z.X. Li, D.L. Wang // *Chinese Geogr. Sci.*– 2019.– V. 29.– I. 2.– P. 245-257.

313. Webb J.S., Thornton I., Howarth R.J., Thomson M., Lowenstein P. *The Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales*. Oxford: Clarendon Press, 1978.– 135 p.

314. Williams W.T. Effects of oxidant air-pollution on needle health and annual-ring width in a ponderosa pine forest/ W.T. Williams, J.A. Williams // *Environ.Conserv.* – 1986.– 13.– № 3.– P. 229-234.

315. Wolswijka G. Distribution of mercury in sediments, plant and animal tissues in Matang Mangrove Forest Reserve, Malaysia / G. Wolswijka, B. Satyanarayanaa, L. Q. Dungb, Y. F. Siaub, A. N. B. Alib, I. S. Saliua, M. A. B. Fisolb, C. Gonnellc, F. Dahdouh-Guebas // *Journal of Hazardous Materials* 387.– 2020.– 121665.

316. Wright G. Application of tree rings (dendrochemistry) for detecting historical trends in air Hg concentrations across multiple scales / G. Wright, C. Woodward, L. Peri, P.J. Weisberg, M.S. Gustin // *Biogeochemistry*.– 2014.– 120 (1–3).– P. 149-162

317. Yigit N. Determination of heavy metal accumulation in air through annual rings: the case of *Malus floribunda* species / N. Yigit // *Applied ecology and environmental research*. – 2019. – V. 17 (2). –P. 2755 - 2764.

318. ZhongChuang L. Corrigendum to “A plant species (*Trifolium repens*) with strong enrichment ability for mercury” / L. ZhongChuang, W. Li-ao // *Ecological Engineering*. 95. –2014. –349–350.

319. Yagolnitser M. An estimate of industrial mercury emission in Siberia / M. Yagolnitser, V. Sokolov, A. Ryabtsev et al. // *Chem Sustainable Dev.*– 1995.– 3.– P. 23-34.

320. Yagolnitser M, Sokolov V, Ryabtsev A, et al. Industrial mercury sources in Siberia/ M. Yagolnitser, V. Sokolov, A. Ryabtsev // Regional and global mercury cycles: sources, fluxes and mass balances. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.– 1996.– P.429–440.

Нормативные документы

321. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

322. ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

323. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) ГОСТ 12.3.031-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы со ртутью. Требования безопасности

324. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

325. ГОСТ 12.3.031-83 Система стандартов безопасности труда. Работы со ртутью. Требования безопасности <http://vsegost.com/Catalog/29/29653.shtml>

326. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы (ССОП). Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения химических веществ в почве

327. СанПиН 2.1.2.1002-00 Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям (с Изменением N 1)

Электронные ресурсы

328. Аналитическое оборудование «Люмекс». Анализатор ртути «РА-915М»
Режим доступа URL: <https://www.lumex.ru/catalog/ra-915-m.php> (Дата обращения 14.05.2017)

329. Все о вегетационном периоде растений: сроки, методы воздействия
Режим доступа URL: <https://ferma.expert/rasteniya/vegetacionnyj-period-rastenij/>
(Дата обращения 23.10.2019)

330. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) Режим доступа URL:
<https://www.who.int/ru> (Дата обращения 17.11.2019)

331. ГЕОХИ РАН Режим доступа URL:
<http://www.geokhi.ru/Lab21/Характеристика%20лаборатории.aspx> (Дата
обращения 5.10.2020)

332. Дендрология Режим доступа URL:
<http://dendrology.ru/forest/item/f00/s01/e0001287/index.shtml> (Дата обращения
21.03.2019)

333. И дождь смывает// Российский научно-популярный журнал «Наука и
жизнь» Режим доступа URL:
https://www.msu.ru/press/hepress/i_dozhd_smyvaet_v_solnechnye_dni_soderzhanie_parov_rtuti_v_vozdukh_v_krupnykh_gorodakh_i_megapolisa.html (Дата обращения
15.11.2019)

334. Интернет журнал «Живой лес»/Тополь Режим доступа URL:
<https://givoyles.ru/articles/poroda-nomera/topol/> (Дата обращения 27.04.2020)

335. Источники выброса ртути в России Режим доступа URL:
http://www.ecoaccord.org/pop/mercury/ISTOHNKI_VYBROSA_RTUTI_V_ROSSII.pdf (Дата обращения 5.10.2020)

336. Итоговый отчет по результатам государственного ртутного мониторинга в районе Северной промышленной зоны г. Павлодар за 2017 год. Министерство энергетики Республики Казахстан ГУ «Управление недропользования, окружающей среды и водных ресурсов Павлодарской области», 2017

337. Казахстанский военный сайт Режим доступа URL: https://military-kz.ucoz.org/index/istorija_vpk_kazakhstan/0-44 (Дата обращения 07.10.2019)

338. Минаматская конвенция Режим доступа URL: http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/Minamata_convention_Russian.pdf (Дата обращения 05.10.2020)

339. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году Режим доступа URL: <http://gisdoklad-ecology.ru/2018/atmosfernyy-vozdukh/kachestvo-atmosfernogo-vozdukha/> (Дата обращения 07.12.2019)

340. Определение отличительных признаков древостоя Режим доступа URL: <https://helpiks.org/9-8.html> (Дата обращения 23.08.2017)

341. Отчет о научно-исследовательской работе. Металлы на Байкальской природной территории. ФЦП «Охрана озера Байкал и социально-экономического развитие Байкальской природной территории на 2012-2020 года», 2015 Режим доступа URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/fbf/Baikal_metals_Pass.pdf (Дата обращения 11.09.2020)

342. Оценка поступлений ртути в окружающую среду с территории Российской Федерации Режим доступа URL: <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-541-7/html/default.htm> (Дата обращения 02.02.2020)

343. Ртутное загрязнение в России: Проблемы и рекомендации Режим доступа URL: http://www.ecoaccord.org/pop/Ртутное%20загрязнение%20в%20России_2.pdf (Дата обращения 05.10.2020)

344. Ртуть и здоровье. Всемирная Организация Здравоохранения Режим доступа URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health> (Дата обращения 05.10.2020)

345. Электронный фонд правовой-нормативно-технической документации Режим доступа URL: <http://docs.cntd.ru/document/902233276> (Дата обращения 05.10.2020).