

Ляпина Елена Евгеньевна

**ЭКОГЕОХИМИЯ РТУТИ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ
ТОМСКОГО РЕГИОНА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в Институте мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения российской академии наук

Научный руководитель:

кандидат биологических наук
Головацкая Евгения Александровна

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук
Аношин Геннадий Никитович

кандидат геолого-минералогических наук
Жорняк Лина Владимировна

Ведущая организация:

АУ Республики Алтай «Алтайский региональный институт «Экология»», г. Горно-Алтайск

Защита состоится 14 марта 2012 г. в 15.00 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.07 при ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский «Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 2, стр. 5, корп. 20, ауд. 504.

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

Автореферат разослан 13 февраля 2012 г.

Ученый секретарь совета,
д. г.-м. н., профессор



С.И. Арбузов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Ртуть является одним из основных загрязнителей окружающей среды городов и прилегающих к ним территорий, обладающим широким спектром негативного воздействия на живые организмы.

Почвы городов - основной компонент природной среды, являющийся индикатором геохимической обстановки в ландшафте, и находящийся на пересечении всех путей миграции химических элементов (Рихванов и др., 1993; Таусон и др., 1995; Иванов, 1977 и др.). Время пребывания ртути в почве больше, чем в других компонентах биосферы (Добровольский, 2003, Башкин, 2004). Анализ снегового покрова, как кратковременной депонирующей среды, широко применяется в эколого-геохимических и геоэкологических исследованиях (Алехин, 2009, Гладышев, 2000). Исследование ртутной нагрузки на урбанизированных территориях, как в нашей стране, так и в республиках бывшего союза проведены Е.П. Яниным. В Томской области оценка ртутного загрязнения почв проводится сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Р.В. Голева и др.), а также другими специалистами различных организаций и институтов. Анализ ранее проведенных исследований ртутного загрязнения территорий городов России и других стран показывает, что они характеризуются недостаточной изученностью комплексного влияния ртути на все компоненты окружающей среды города (снеговой покров, почвы, биообъекты), часто отсутствуют расчеты эколого-геохимических показателей ртутной нагрузки на территорию городов.

Торфяные почвы характеризуются наибольшей сорбционной способностью к ртути благодаря высокому содержанию органического вещества, что позволяет оценить не только количество накопленного элемента, но и ретроспективу его накопления в прошлом. Исследования накопления ртути торфами на территории Томской области проводились в Сибирском научно-исследовательском институте торфа (Инишева, Цыбукова, 1999), но применявшийся метод исследования давал слишком большую ошибку.

Растения способны не только накапливать ртуть до весьма высоких концентраций, но и выделять ее обратно в атмосферу. Изучение содержания ртути в растениях по литературным данным, как в России, так и за рубежом, представлено в основном исследованием мхов, лишайников, хвой, грибов, реже деревьев. Литературные данные по изучению содержания ртути в растениях на территории Томской области автору не встречались.

Детальная оценка автором комплексной ртутной нагрузки на территорию г. Томска по результатам исследований почв, твердого осадка снега и биообъектов, а также исследования по определению степени биологического поглощения растительностью и аккумуляции ртути торфами Томской области, позволяет более полно оценить степень их загрязнения элементом.

Объектами исследований являются почвы и снеговой покров г. Томска, торфяные месторождения и биообъекты Томской области и Ханты-мансийского автономного округа, предметом исследований – содержание ртути в этих объектах.

Цель работы. Исследование содержания ртути в природных объектах на территории Западной Сибири, выявление природных индикаторов ртутного загрязнения окружающей среды и закономерностей ее накопления в них.

Основные задачи работы

1. Изучить содержание ртути в твердом осадке снега и почве на территории г. Томска.
2. Исследовать торфяные месторождения Томского региона как архивы атмосферного депонирования ртути и определить возможность хронологии ртутного депонирования в торфяных залежах различного типа.
3. Исследовать содержание ртути в годичных кольцах деревьев Томского района для разработки методов дендрохроноиндикации.
4. Выявить наиболее информативные индикаторы ртутного загрязнения (мхи, лишайники, грибы, хвоя) в Томской области.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертационной работы положены результаты исследований, проводившихся лично автором и совместно с сотрудниками Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН и кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета в период с 2003 по 2007 гг.

Для исследования содержания ртути в природных объектах на территории Томского региона были отобраны и проанализированы пробы снега, почвы, торфа, а также биообъектов. Пробы снега (56 проб) и почвы (120 проб) отбирали по сети, равномерно покрывающей г. Томск (рис. 1). Кроме этого, дополнительно были отобраны пробы почв с территорий 16 промышленных предприятий г. Томска (63 пробы), а также в условно фоновом районе (с. Киреевск, Кожевниковский район, Томская область). Пробы торфа отобраны на болотных экосистемах Томского района, Томской области и Ханты-мансийского Автономного округа (табл. 1). Всего проанализировано 12 торфяных разрезов (480 проб). Пробы биологических объектов отобраны на территории г. Томска, Томского района и Томской области (296 проб).

Все пробы проанализированы с помощью ртутного газоанализатора РГА-11 атомно-абсорбционным методом в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Все анализы выполнены по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов. При этом осуществлялся внутренний контроль параллельным определением элемента. Погрешность определения не превышает 30 %.

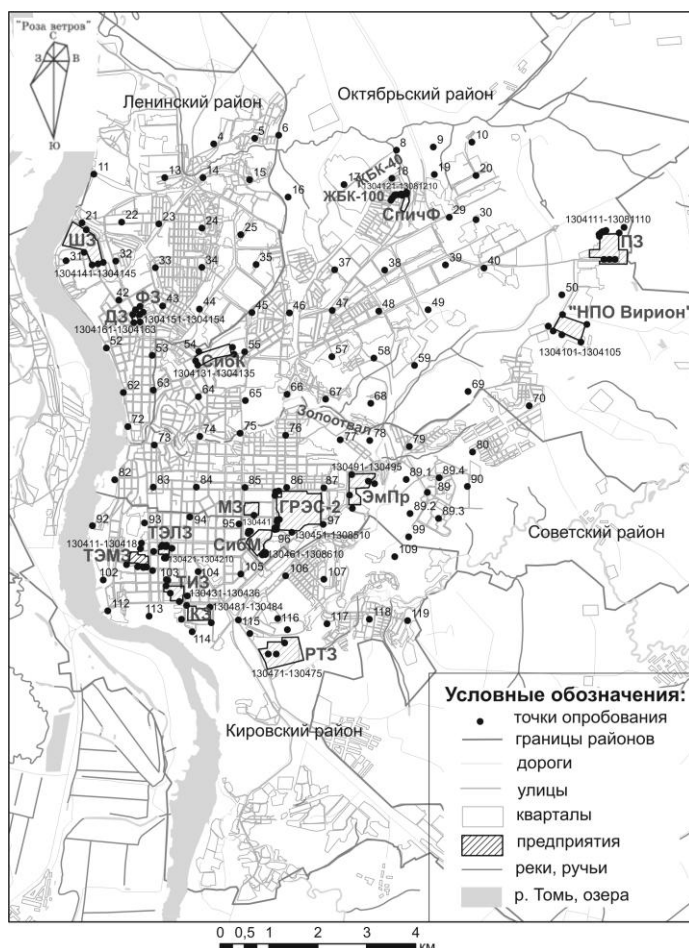


Рис. 1. Схема расположения точек опробования почв на территории г. Томска:

ТЭМЗ – ОАО «Томский электромеханический завод»; ТЭЛЗ – ОАО «Томский электроламповый завод»; ТИЗ – ОАО «Томский инструмент»; МЗ – ОАО «Манотомь»; СибМ – ОАО «Сибэлектромотор»; РТЗ – ОАО «Томский радиотехнический завод»; КЗ – ООО «Континентъ» (Кирпичный завод); ЭмПр – Эмальпроизводство ЗАО «Сибкабель»; ПЗ – ЗАО «Томский приборный завод»; СпичФ – спичечная фабрика «Сибирь»; СибК – ЗАО «Сибкабель»; ШЗ – ОАО «Томский шпалопропиточный завод»; ФЗ – ОАО «Фармстандарт-Томскхимфарм»; ДЗ – Томский дрожжевой завод (Жорняк, 2009)

Таблица 1

Характеристика исследуемых торфяных месторождений

Ключевой участок	Мощность торфяной залежи, м	Характеристика	Место расположения
торфяное месторождение «Бакcharское», олиготрофное болото			
Заболоченный лес (БЗЛ)	0,2	Естественный участок	Бакcharский район, Томская область
Высокий рям (БВР)	1,0	Естественный участок	
Низкий рям (БНР)	3,0	Естественный участок	
Осоково-сфагновая топь (БОТ)	2,7	Естественный участок	
торфяное месторождение «Васюганское», олиготрофное болото			
Низкий рям (ВНРмел)	2,8	Участок лесомелиорации	
Низкий рям (ВНР)	1,0	Естественный участок	
торфяное месторождение «Сухое-Вавиловское», эвтрофное болото			
«Сухое-Вавиловское» (СВ)	2,6	Выработанный участок	
торфяное месторождение «Самара», эвтрофное болото			
Ерниково-осоковый фитоценоз (СЭБ)	3,7	Естественный участок	Томский район, Томская область
торфяное месторождение «Таган», эвтрофное болото			
Таган (ТВ)	1,05	Выработанный участок	
Таган (Т)	3,4	Естественный участок	Томская область
торфяное месторождение «Озерное», олиготрофное болото			
Грядово-мочажинный комплекс (ОзГМК)	3,4	Участок с антропогенным влиянием	Каргасокский район, Томская область
торфяное месторождение «Салымо-Юганское», олиготрофное болото			
Грядово-мочажинный комплекс (СЮГМК)	3,1	Естественный участок	Ханты-Мансийский автономный округ

Научная новизна

1. Впервые проведена комплексная геоэкологическая оценка ртутной нагрузки на территорию г. Томска по результатам измерений содержания ртути в твердом осадке снега, почвах и растениях, а также на основании расчета геоэкологических показателей.
2. Впервые получены глубинные распределения концентрации ртути на фоновых и нарушенных участках торфяных месторождений Томского региона.
3. Впервые проведен анализ распределения ртути в торфах с помощью модели «Ртуть/Биомасса».
4. Впервые проведены исследования по изучению биоиндикаторов ртутного загрязнения в Томском регионе.

Практическая значимость работы. Результаты работы по определению ртутной нагрузки на территорию г. Томска могут представлять интерес для органов и организаций экологического контроля г. Томска и Томской области. Полученные нами данные по содержанию ртути в почвах, торфах и растениях могут найти применение при оценке экологического состояния как урбанизированных, так и фоновых территорий Томской области. Материалы диссертационной работы могут быть использованы при проведении практических и лабораторных занятий студентов экологических специальностей. Материал, собранный автором, является основой для дальнейшего мониторинга урбанизированных и фоновых территорий.

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб, изученных современными высококачественными аналитическими методами, проанализированных и обработанных с применением статистических методов анализа, а также глубиной проработки материала.

Апробация работы. Основные результаты работы, полученные автором докладывались на 9 Российских и 13 Международных научных симпозиумах, конференциях, совещаниях и школах-семинарах: Российской конференции «Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу» (Томск, 2005, 2007, 2008, 2011 гг.), Международном симпозиуме студентов и молодых ученых им. М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2006, 2007, 2008 гг.), Международном симпозиуме «Контроль и реабилитация окружающей среды» (Томск, 2006, 2008 гг.), Всероссийской конференции молодых ученых «Фундаментальные проблемы новых технологий в новом тысячелетии» (Томск, 2006, 2009 гг.), International Conference on Environmental Observations, Modeling and Informational Systems (Томск, 2006), International Conference and Young Scientists School on Computation Information Technologies for Environmental Sciences (Томск, 2007; Красноярск, 2009), Международном симпозиуме «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Москва, 2010) и др.

Публикации. Основное содержание и научные положения диссертации опубликованы в 40 работах, в том числе 3 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Объем работы составляет 154 страницах, включая 33 таблицы и 41 рисунок. Список литературы состоит из 300 наименований, в том числе 42 на иностранном языке.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы и проведенных исследований. Определены цели и задачи диссертационной работы, обозначен вклад автора в исследования по данной теме, отражена научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов.

В главе 1 отражены современные научные достижения в области исследования содержания ртути в природных средах, геохимических особенностей миграции и трансформации.

Глава 2 посвящена методике исследований. Описаны способы отбора и обработки проб снега, почв, торфа и биообъектов, методы анализа ртути в разных средах. Приведена характеристика природно-климатических особенностей пунктов отбора проб, а также геоэкологической ситуации г. Томска.

В главе 3 приведен уровень ртутной нагрузки на территорию г. Томска по данным исследования почв и твердого осадка снега.

В главе 4 обсуждается динамика накопления ртути торфами как нативных, так и антропогенно-нарушенных болотных экосистем.

В главе 5 проанализировано содержание ртути в биологических объектах Томской области.

В заключении приведены основные выводы и рекомендации.

Личный вклад соискателя в получение результатов, изложенных в диссертации, заключается в непосредственном участии в отборе и подготовке к анализам проб почвы, подготовке к анализу проб торфа и биообъектов, исследовании состава проб, статистической обработке материала, построении карт-схем загрязнения почвенного и снегового покрова изучаемой территории.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю к.б.н. Е.А. Головацкой и руководителю лаборатории физики климатических систем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН профессору д.ф.-м.н. И.И. Ипполитову за внимание, ценные советы и помощь при выполнении работы.

Искреннюю благодарность автор выражает сотрудникам кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета профессору, д.г.-м.н. Л.П. Рихванову за внимание и ценные советы, к.г.-м.н. А.В. Таловской, к.г.-м.н. Л.В. Жорняк. за помощь в проведении полевых исследований и плодотворное сотрудничество.

Особо признателен автор сотрудникам Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН: лаборатории геофизических исследований И.В. Курьиной за ценные советы, к.б.н. Ю.И. Прейс, лаборатории биоинформационных технологий к.б.н. В.Д. Несветайло, А.Н. Маркеловой за помощь в проведении исследований.

Автор благодарен коллегам по лаборатории физики климатических систем к.ф.-м.н. Е.А. Дюкареву, С.В. Логинову, к.ф.-м.н. Смирнову С.В. за ценные советы, рекомендации, помощь и поддержку при написании и оформлении работы.

Отдельную признательность за помощь в проведении исследований автор выражает Головацкому Ю.В.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОЛОЖЕНИЕ 1. Концентрация ртути в почвах и пылеаэрозольных выпадениях на снеговой покров города Томска позволяют выделить наиболее нагруженные районы. Распространение загрязнения связано с воздушным переносом и имеет пространственное распределение, определяемое преобладающим направлением ветра и орографией города.

По результатам исследований содержания ртути в пылеаэрозольных выпадениях на снеговой покров г. Томска установлен очаговый характер распространения поллютанта по территории города (рис. 2а), с содержанием в очагах от 60 до 258 нг/г, что превышает фон до 4,5 раз (Янин, 2005, Буренков и др., 2000). Более высокие концентрации ртути получены для северной части города, что объясняется преобладающим направлением ветра в зимний период 2007 г., а так же аэродинамическими закономерностями распределения потоков воздуха по долине р. Томь. Кроме преобладающего направления ветра на распределение загрязнения влияет орография города и характер жилой застройки районов, создающий особый тип циркуляции воздушных масс (Рихванов и др., 2006). Исходя из средних концентраций ртути в снеге, следует отметить Октябрьский и Ленинский районы, как наиболее загрязненные. Наиболее чистым можно считать Советский район.

Для расчета опасного воздействия ртутного загрязнения на окружающую среду г. Томска были использованы следующие экогеохимические показатели (табл. 2): **общая ртутная нагрузка** - $R_{Hg} = C_{Hg} \cdot P_n / 100$, мг/(м²·сут); где C_{Hg} - концентрация ртути в снеговом покрове, %; P_n - пылевая нагрузка, мг/(м²·сут); **коэффициент общей ртутной нагрузки** - $K_{R_{Hg}} = R_{Hg} / R_{\phi}$, величина безразмерная, где; R_{ϕ} - общая нагрузка ртути на фоновом участке (с. Киреевск), 26,7 мг/(м²·сут); **коэффициент аэрозольной аккумуляции** - $K_a = A / K$, где A - содержание ртути в твердой фазе аэрозоля, %; K - кларк ртути в гранитном слое континентальной земной коры ($0,033 \cdot 10^{-4}\%$ по А.А. Беусу (Янин, 2005)); **коэффициент концентрации** - $K_c = C_{Hg} / C_{\phi}$, где C_{ϕ} - содержание ртути в соответствующем компоненте окружающей среды для фонового района (Летевнинкас, 2002), **кларк концентрации** - $K_k = C_{Hg} / K$, где K_k - кларк концентрации ртути, C_{Hg} - концентрация ртути в почве (%), K - кларк ртути в земной коре ($4,5 \cdot 10^{-7}\%$, по Н.А. Озеровой (Иванов, 1997)).

Проведенная оценка ртутной нагрузки на территорию города в зимний период позволяет выделить Ленинский и Октябрьский районы как более загрязненные, а Кировский и Советский – как менее загрязненные по всем экогеохимическим показателям.

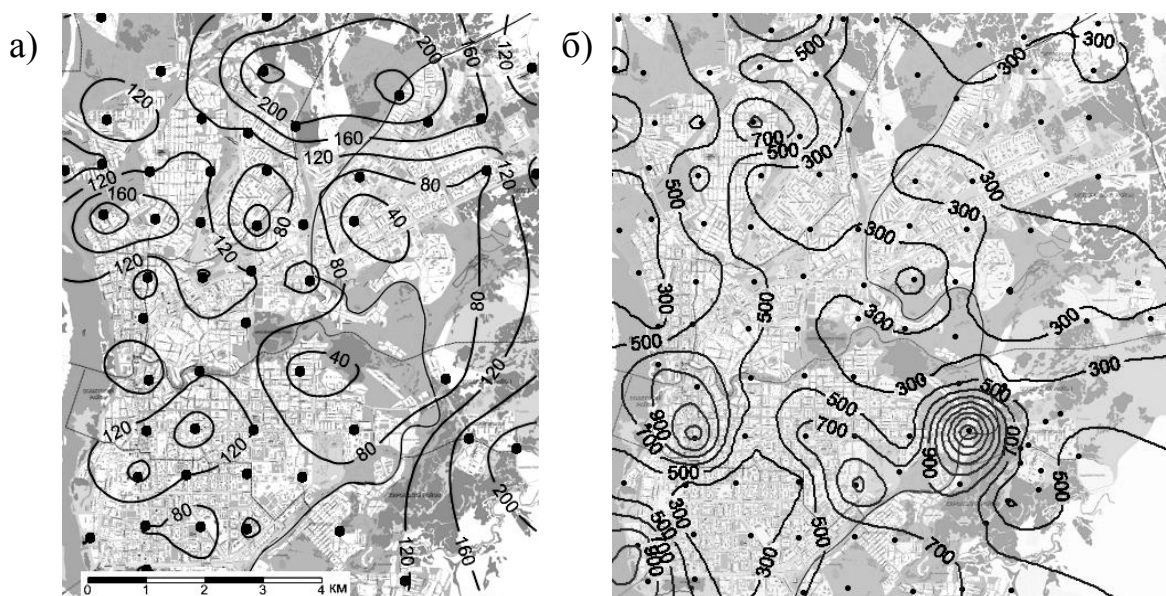


Рис. 2. Распределение содержания ртути по территории г.Томска, нг/г:
а) в снеговом покрове, б) в почвах

Таблица 2

Содержание ртути в объектах окружающей среды г. Томска

Показатель	Район			
	Кировский	Советский	Октябрьский	Ленинский
<i>Снег</i>				
C_{Hg} , нг/г	50-183/113*	19-222/96	7-194/121	4-258/111
K_c	0,5-1,84/1,12	0,18-2,24/0,99	0,07-1,96/1,27	0,04-2,6/1,22
K_a	0,02-0,06/0,04	0,02-0,07/0,03	0,02-0,06/0,04	0,01-0,07/0,03
P_{Hg} , мг/(м ² •сут)	9,6-206,6/20,4	3,9-417,1/21,2	2,4-295,8/44,0	1,3-498,9/134,1
Kp_{Hg}	0,36-7,74/0,76	0,15-15,62/0,79	0,09-11,08/1,65	0,05-18,69/5,02
<i>Почва</i>				
C_{Hg} , нг/г	160-1160/359	260-2250/783	170-570/309	100-1010/482
K_c	1,78-12,89/3,98	2,89-25/8,7	1,89-6,89/3,43	1,11-11,22/5,36
$K_{cПДК}$	0,08-0,55/0,17	0,12-1,07/0,37	0,08-0,3/0,15	0,05-0,48/0,23
K_k	0,04-0,33/0,1	0,06-0,50/0,14	0,04-0,14/0,07	0,05-0,20/0,1

Примечание: * - минимум-максимум/среднее

Данные, полученные в ходе исследования поверхностной составляющей почв г. Томска показали наличие в отдельных районах города концентраций Hg в значениях, незначительно превышающих ПДК (2100 нг/г), но значительно выше фонового содержания для почв Томской области (90 нг/г) и в 2 раза превышающие концентрации, полученные Л.П. Рихвановым в 1993 г., однако очаги максимального содержания ртути совпадают (Рихванов и др, 1993) (рис. 2б). Максимальная концентрация Hg 2250 нг/г отмечена в Советском районе (пос. Восточный), также выявлены очаги высоких концентраций в Ленинском и Кировском районах, что объясняется наличием большого количества котельных (в том числе и печное отопление), влиянием загруженных транспортных магистралей, функционированием железнодорожного вокзала, а также большим количеством несанкционированных свалок и положением на рельефе. Низкая концентрация ртути наблюдается в лесопарковых зонах, Академгородке и в спальных районах, где нет крупных промышленных предприятий и нагрузка автотранспорта невелика.

Несоответствие площадного расположения очагов с максимальным содержанием ртути в твердом осадке снега и почвах на территории г. Томска объясняется основным направлением стока с более высоких точек ландшафта (Каштачная гора, район Лагерного сада, Академгородок) в более низкие (мкр. Черемошники, пос. Восточный, набережная р. Томь) во время весеннего снеготаяния и в период дождей. Карта распространения содержания Hg в твердом осадке снега по территории г. Томска отражает характер ртутного загрязнения только за один зимний сезон, в то время как карта распределения содержания ртути в почве - за более длительный период.

Более детальное изучение содержания ртути, проведенное в пробах грунтов, отобранных вблизи промышленных предприятий г. Томска, позволило выделить два предприятия с наибольшими концентрациями поллютанта в почвах их территорий - Электромеханический и Дрожжевой заводы (табл. 3), что объясняется производственной деятельностью первого и положением в ландшафте второго.

Таблица 3

Коэффициенты концентрации Hg в почвах вблизи промышленных объектов г. Томска

Объект исследования	Район	$K_c = C_{Hg}/C_f$	$K_{с\text{пдк}} = C_{Hg}/ПДК$	$K_k = C_{Hg}/K$
ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева»	Кировский	4,21	0,18	0,084
ОАО «Томский электроламповый завод»		2,01	0,09	0,040
ООО «Томский инструментальный завод»		4,29	0,18	0,086
ОАО «Томский радиотехнический завод»		2,89	0,12	0,058
ООО «Томский кирпичный завод»		0,96	0,04	0,019
ОАО «Манотомь»	Советский	4,49	0,19	0,090
ГРЭС-2		2,33	0,10	0,047
ОАО «Сибэлектромотор»		1,56	0,07	0,031
ООО «Завод «Эмальпровод»	Октябрьский	2,94	0,13	0,059
НПО «Вирион»		3,10	0,13	0,062
ОАО «Томский приборный завод»		4,00	0,17	0,080
Спичечная фабрика «Сибирь»		8,21	0,35	0,164
ЗАО «Сибкабель»	Ленинский	3,56	0,15	0,071
ОАО «Томский шпалопропиточный завод»		8,98	0,38	0,180
Фармацевтическая фабрика		1,14	0,05	0,023
ЗАО «Дрожжзавод»		11,57	0,50	0,231

По результатам измеренных концентраций ртути на территории промышленных объектов и рассчитанных коэффициентов выделили Ленинский и Октябрьский, как районы с высоким содержанием ртути в почвах промышленных предприятий. Наименее загрязнены ртутью по данным измерений и расчетов являются почвы промзон предприятий Советского и Кировского районов. Различия в площадном распределении ртутного загрязнения по территории города и местоположении основных предприятий-загрязнителей объясняется тем, что предприятия Советского и

Кировского районов и почвы их промышленных зон являются источниками ртутного загрязнения территорий Октябрьского и Ленинского районов из-за преобладающего направления ветра.

По результатам проведенных инструментальных исследований и результатам рассчитанных эколого-геохимических показателей наибольшую ртутную нагрузку испытывают Ленинский и Советский районы, наименьшую - Кировский и Октябрьский.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Изучение стратифицированных образований (торф и годовые кольца деревьев) Томского региона выявило сходный характер динамики содержания ртути, отражающий общемировые тенденции использования ртути за последние 100 лет.

Результаты измерения концентраций ртути в образцах торфа как нативных, так и антропогенно-нарушенных торфяных месторождений Томской области выявили похожий вид содержания ртути в торфяных колонках с максимальными значениями в верхней части профиля и последующим снижением (рис. 4а, 4б). Полученные нами данные соответствуют характеру распределения содержания ртути в торфяных разрезах разных стран мира (Martinez-Cortizas, 1999; Steinnes, 2005; Benoit, 1998 и др.), а так же во льдах Антарктиды и Гренландии (Shotyk, 2003). Концентрации ртути в придонных слоях, исследованных месторождений, соответствуют ее содержанию в подстилающих породах (Головацкий и др., 2003).

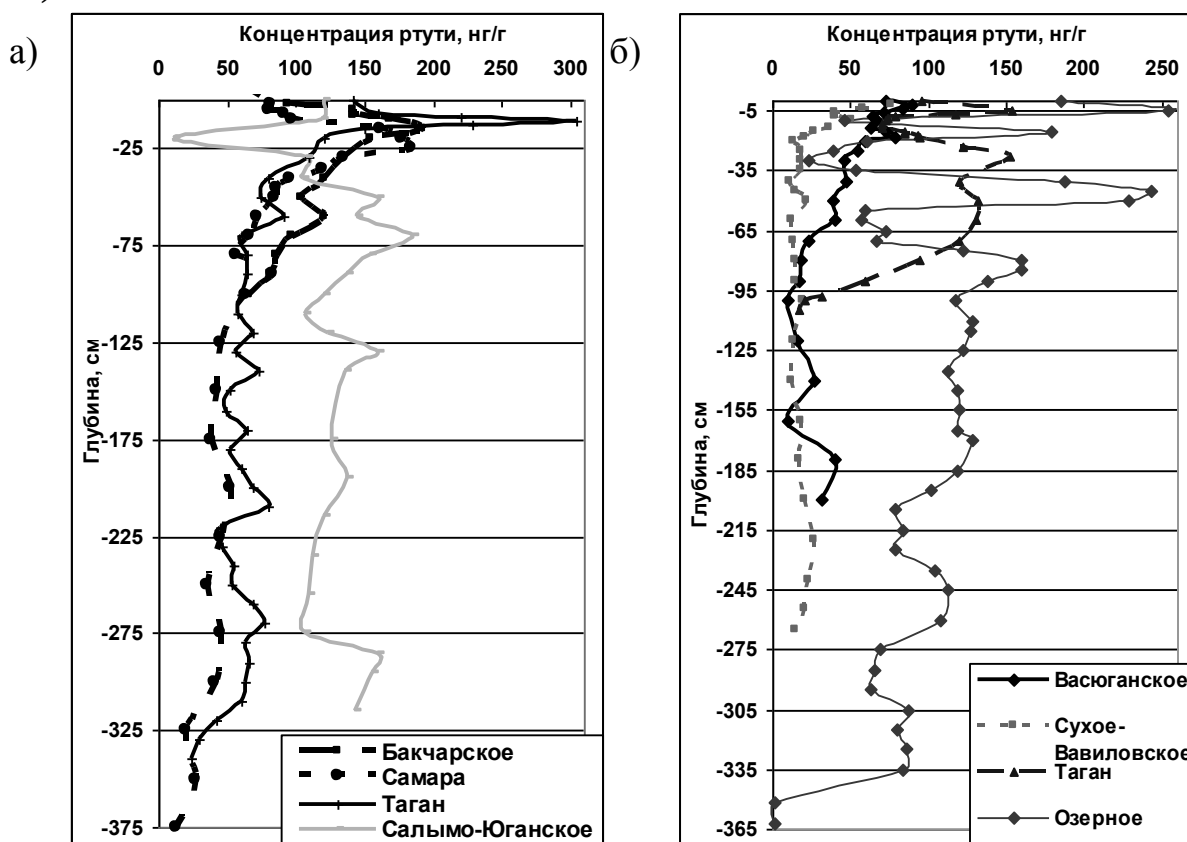


Рис. 4. Содержание ртути в торфах:
а) нативных, б) антропогенно-нарушенных болотных экосистем

Содержания ртути в торфах нативных болотных экосистем варьирует от 36 до 209 нг/г (табл. 4). На значения средних концентраций ртути в торфах влияют ботанический состав (т.м. «Васюганское»), степень разложения торфа (т.м. «Самара») и степень удаленности от урбанизированных территорий (т.м. «Таган» и «Салымо-Юганское»), а также физико- и геохимические процессы в залежи (т.м. «Бакчарское»).

Таблица 4

Изменение концентраций ртути в пробах торфа с глубиной

Торфяное месторождение	Концентрация ртути в пробах торфов, нг/г									
	Среднее значение в залежи	max	min	Среднее по глубине*						
				0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350
Относительно незагрязненные торфяные месторождения										
Бакчарское:										
Забол. лес	209	277	129	209	-	-	-	-	-	-
Высокий рям	128	192	67	145	90	-	-	-	-	-
Низкий рям	54	75	19	63	40	38	54	27	22	-
Открытая топь	59	99	19	86	52	56	24	19	33	-
Салымо-Юганское	132	185	106	92	150	130	126	141	143	-
Самара	76	184	12	116	68	44	45	44	29	-
Таган	85	305	24	159	69	61	58	58	65	44
Васюганское	36	57	12	44	23	-	-	-	-	-
Антропогенно-нарушенные торфяные месторождения										
Васюганское	47	90	10	65	22	21	27	-	-	-
Таган	91	153	17	101	76	-	-	-	-	-
Сухое-Вавиловское	24	76	11	31	15	15	19	25	18	-
Озерное	117	255	28	144	64	121	117	91	76	84

примечание: «-» – отсутствие измерений, * - глубина в см

Пункты исследования на Бакчарском болоте расположены на геохимически сопряженном ландшафтном профиле, что позволяет провести оценку распределения ртути не только по глубине, но и по площади. Для торфяной залежи низкого рьяма получены наименьшие средние концентрации Нг в торфяной залежи. Почти в три раза выше концентрации ртути в торфе высокого рьяма, который занимает более низкое положение в рельефе и куда происходит основной вынос Нг с болотными водами из залежи низкого рьяма. Максимальное содержание ртути наблюдается в торфяной залежи заболоченного леса, где происходит концентрирование как принесенной ртути на геохимическом (окислительном) барьере.

В торфах т.м., испытывающих в той или иной степени антропогенную нагрузку, среднее содержание ртути изменяется от 24 до 117 нг/г (табл. 4). Средние концентрации ртути в торфах осушенного участка т.м. «Васюганское» выше в 1,3 раза, чем на нативном участке этого же болотного массива. Причем характер распределения содержания ртути в торфяных колонках обоих разрезов сходен, что подтверждается и результатами корреляционного анализа ($r=0,88$). Однако в верхней части профиля средние значения в торфе нативного участка в 2 раза ниже по сравнению с

антропогенно-нарушенным участком, т.к. торф характеризуется низкой степенью разложения. Среднее содержание Hg в торфах т.м. «Сухое-Вавиловское» в 3 раза меньше по сравнению эвтрофным болотом «Самара», что связано с выемкой торфа на т.м. «Сухое-Вавиловское» (табл. 4).

Среднее содержание ртути в торфе выработанного участка т.м. «Таган» (табл. 4) незначительно превышает среднее значение в торфе естественного участка этого же месторождения. Среднее содержание ртути в торфяной залежи «Озерное» соответствует таковому в торфяной залежи т.м. «Салымо-Юганское», однако разброс полученных концентраций значительно больше. Следует также отметить более высокие концентрации в торфяных залежах месторождений «Озерное» и «Салымо-Юганское» (практически в 2 раза), по сравнению с другими т.м., что связано с нахождением этих болот в районе нефтегазовых месторождений. Известно (Дорожукова и др., 2000), что ртуть сопровождает месторождения углеводородов, оказывая эндогенное влияние на фоновые значения Hg для этих территорий.

Более детальный анализ верхнего слоя т.м. «Озерное» позволил выявить наличие трех пиков содержания ртути в торфе. По данным радиоуглеродного анализа (Институт геохимии окружающей среды Национальной Академии Наук Украины, г. Киев, аналитик Скрипкин В.В.) возраст верхней части профиля торфяной залежи т.м. «Озерное» на глубине 45 см составляет 305 ± 70 лет и соответствует примерно 1700 г., на этой глубине выявлен первый пик концентрации ртути. Согласно проведенным расчетам глубина 20 см соответствует началу XX-го века. Следовательно, второй (15 см, 179 нг/г) и третий (5 см, 255 нг/г) пик соответствуют 1925 и 1975 гг. Максимум 1975 года скорее всего связан с началом добычи нефти и газа в Сибири (с 1970 г.) (рис. 7).

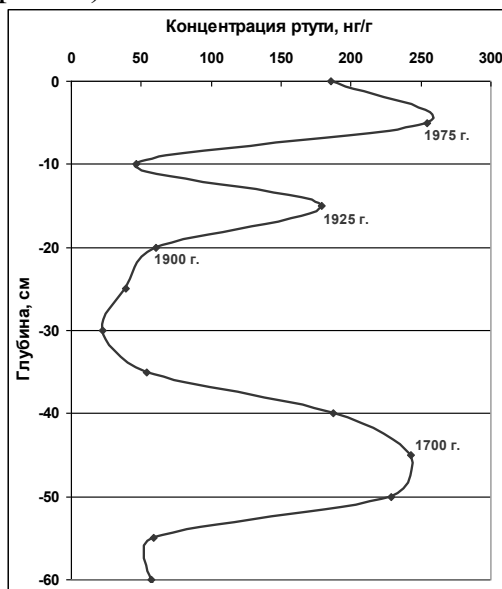


Рис. 7. Возраст пиков содержания ртути в верхней части профиля т.м. «Озерное» по данным радиоуглеродного анализа

Кроме того, на характер распределения концентрации ртути в торфах влияют размер частиц торфа, их сорбционная способность, происходящие в торфе биохимические и физико-химические процессы и др. (Цыбукова и др.,

1998). Распределение содержания Hg в зависимости от горизонта торфяных почв т.м. «Бакcharское» на ландшафтном профиле р. Ключ (высокий рям, низкий рям, открытая топь) исследованы на основании концепции М. Мейли «Ртуть/Биомасса» (Meili, 1991), которая предполагает наличие жесткой связи между содержаниями ртути и биогенных элементов: углерода, азота. Для проведения анализа распределения ртути определены общетехнические свойства торфяных почв (Базин и др., 1992; Пономарева и др., 1961; Замятина, 1975), содержание общего углерода и азота, а также провели наблюдения за окислительно-восстановительным потенциалом (далее ОВП) (табл. 5).

Таблица 5

**Общетехнические свойства торфяных почв т.м. «Бакcharское»
(Инишева и др., 2000)**

Биогеоценоз	Глубина, см	Ботанический состав торфа	R, %	A, %	C _{общ} , %	N, %
Высокий рям	0-10	Сосново-пушицевый верховой	35(40)	5,8	42,76	1,742
	10-30	Пушицевый верховой	45-55	5,4-6,7	46,55	1,966
	30-50	Осоково-пушицевый переходный	55 (60)	2,7-6,7	49,06	2,335
	50-60	Осоковый низинный	55 (60)	6,8	45,05	2,649
	60-70	Древесно-травяной низинный	60	9,2	48,1	2,504
	70-80	Осоковый низинный	(60)65	3,2	43,32	0,678
Низкий рям	0-100	Фускум торф	0-5	1,4-4,5	43,85	1,11
	100-150	Медиум торф	10	1,7-3,3	44,19	0,98
	150-200	Сосново-пушицево-сфагновый верховой	50-55	3-5,5	49,16	2,189
	200-250	Осоковый низинный	(40)-45	3,50-4	47,73	2,739
	250-300	Травяной низинный	40-(45)	3,9-32,2	31,27	1,809
Открытая топь	0-10	Фускум- торф	0	2,5	44,02	2,103
	10-60	Медиум- торф	0-5	2,5	45,23	1,872
	70-100	Комплексный верховой	10-20	2,7-4,2	47,81	1,018
	100-150	Осоково-сфагновый переходный	35	4,1-6,8	50,55	1,743
	150-200	Осоковый переходный	50-(55)	4,1-6,4	48,33	2,019
	200-250	Травяной низинный	50	4,1-13,3	46,49	2,314
	250-300	Папоротниковый низинный	40	6,8	43,76	0,884

Примечание: R – степень разложения, A – зольность, C_{общ} – общее содержание углерода, N - содержание общего азота

На основании корреляционного анализа выявлена зависимость содержания Hg от ботанического состава, степени разложения, зольности, а также от содержания органического вещества, азота, углерода и величины ОВП (табл. 6). Наличие окислительного барьера приводит к распределению содержания ртути в торфяной почве по двум горизонтам, выявленным по окислительно-восстановительным условиям: аэробному, характеризующемуся повышенным содержанием ртути и анаэробному, с концентрациями ртути близкими к фоновому содержанию (табл. 6). Также проведено сравнение по распределению и соотношению ртути и биогенных элементов (азота и углерода) с опорными данными (Гладкова и др., 2005).

Таблица 6

**Зависимость валового содержания ртути в торфяных почвах от их
общетехнических свойств и содержания углерода и азота**

	Ботанический состав	R	A	ОВП	Плотность	Плотность твердой фазы	C _{общ}	N	C/N
Высокий рям	-0,74	-0,74	-	0,85	-0,72	-	0,74	0,72	-0,78
Низкий рям	-0,81	-0,56	-0,52	0,79	-0,96	0,85	-0,65	-0,5	0,75
Отрытая топь	-0,79	-0,84	-0,56	0,98	-	0,75	-0,59	-0,68	0,51

Примечание: R – степень разложения, A – зольность, ОВП – окислительно-восстановительный потенциал, C_{общ} – общее содержание углерода, N – содержание общего азота, «-» – корреляция недостоверна, уровень значимости P=0,05

В результате регрессионного анализа определены наиболее вероятные ртуть-связывающие центры в торфяной залежи – N-содержащие центры во всем профиле торфяной почвы, за исключением верхнего аэробного горизонта, где C-содержащие центры гуминовых кислот также могут являться ртуть-связывающими центрами (табл. 7).

Таблица 7

Усредненные данные элементного состава исследованных торфяных почв

Биогеоценоз	Горизонт	Содержание			Отношение			
		C	N	Hg	C/N	Hg/C	Hg/N	Hg/ГК
		%		мкг/кг	атомное		мкг/г	
Высокий рям	Аэробный	44,83	2,00	148,00	22,62	0,33	7,48	0,75
	Анаэробный	46,38	2,42	96,00	19,08	0,21	4,58	0,34
Низкий рям	Аэробный	43,15	1,24	91,41	34,90	0,21	8,16	1,45
	Анаэробный	46,20	1,66	46,07	27,90	0,11	3,97	0,32
Открытая топь	Аэробный	43,22	2,08	91,89	20,88	0,21	4,39	1,74
	Анаэробный	46,07	1,63	46,37	28,25	0,10	3,18	0,43

Регрессионные уравнения для расчета содержания ртути: $Hg/N=a-b(C/N)$ (1), $Hg/ГК=a_1-b_1(C/N)$ (2), где Hg – содержание ртути, нг/г; N, ГК – содержание азота и углерода гуминовых кислот г/кг, a, a₁, b и b₁ – коэффициенты регрессии. Для определения содержания ртути в аэробном слое использована формула 2, в анаэробном горизонте – формула 1.

Сравнение экспериментальных данных с данными, полученными по модельным уравнениям, показало, что расчетный метод дает хорошее приближение к экспериментальным результатам для большинства горизонтов (рис. 5). Значительное расхождение наблюдается в случае, когда в профиле торфяной почвы происходит резкая смена ботанического состава, зольности и степени разложения торфов, слагающих торфяной профиль.

Предложенная модель распределения соединений ртути в профиле торфяной почвы, основанная на концепции «Ртуть/Биомасса», позволяет рассчитать содержание ртути в горизонтах торфяной почвы по содержанию C и N.

Характер распределения ртути в вертикальном профиле всех исследованных торфяных залежей обусловлен природно-климатическими, гидрогеохимическими и антропогенными факторами. Динамика содержания ртути в торфяных профилях как нативных, так и антропогенно-нарушенных болотных экосистем показывает увеличение от 1,4 до 3,0 раз

содержания поллютанта в верхнем 60-см слое по сравнению со слоями, залегающими ниже. Подобное распределение Hg по глубине выявлено и другими исследователями и отражает общемировые тенденции по использованию ртути за последние 100 лет (глубина 60 см соответствует началу XX в).

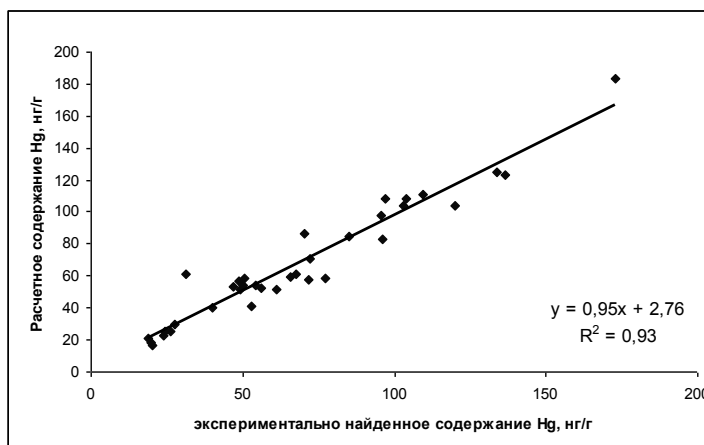


Рис. 5. Соотношение расчетного и экспериментального валового содержания ртути в исследуемых торфяных почвах

Данные, полученные в результате исследования содержания ртути в образцах древесины тополя и сосен, отобранных в зоне влияния Томска и Северска, варьируют в пределах от 41 до 213 нг/г - в древесных кольцах тополя (пл. Новособорная) и от 21 до 261 - в соснах (с. Ярское и Самусь) (рис. 9), не превышают фоновые значения (30-700 нг/г) и сопоставимы с результатами, приводимыми в литературе (Большаков и др., 1969; Иванов, 1997 и др.).

Среднее содержание Hg в древесине не зависит от породы дерева: тополь - ср. 94 нг/г, сосна - ср. 80 нг/г и 119 нг/г. Считается, что кора деревьев накапливает загрязнители гораздо интенсивнее, чем остальные органы и ткани растений (Белоголова и др., 2010). В наших исследованиях в коре тополя (83 нг/г) и сосны (84 нг/г) такой зависимости не обнаружено.

Результаты анализа содержания ртути в древесных кольцах за период с 1970 по 1992 гг. показали постепенное увеличение содержания ртути к концу XX в. в древесине всех исследованных деревьев (рис. 6). Результаты корреляционного анализа показали отсутствие связи между концентрацией ртути и шириной годичных колец деревьев.

В результате проведенного корреляционного анализа взаимосвязей между температурой воздуха, количеством осадков и содержанием ртути в годовых кольцах исследуемых деревьев обнаружено не было. За исключением сосны (с. Самусь), где выявлено повышение концентрации ртути с увеличением количества осадков ($r=0,68$, $p=0,03$).

Концентрации ртути в образцах древесины, так же как и содержание поллютанта в верхней части торфяных разрезов, свидетельствуют об увеличении в 2 раза поступления ртути к концу XX в.

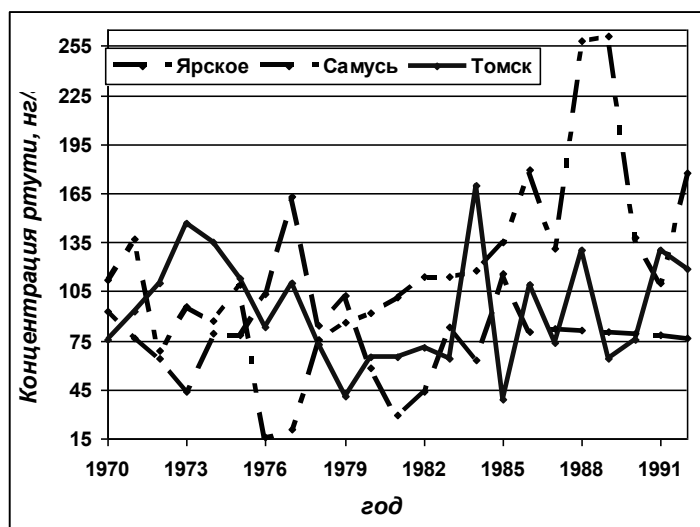


Рис. 6. Сводный график содержания ртути в древесине тополя и сосны, нг/г

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Уровни накопления ртути биологическими объектами Томской области сопоставимы с данными, полученными исследователями других регионов России и стран мира. Лишайники и мхи могут являться индикаторами ртутного загрязнения окружающей среды Томской области.

Как показало исследование, содержание ртути в исследуемых грибах изменяется от 16 до 299 нг/г (рис. 7). В работе Г.Н. Аношина и др. (Аношин и др., 1995) несколько большие содержания Hg отмечаются в губчатых грибах, по сравнению с пластинчатыми. В наших данных эта закономерность также наблюдается. Концентрации ртути в грибах, собранных в черте г. Томска, в целом, не превышают значения в других точках апробирования, хотя заметно значительное увеличение ртути в сыроежке (299 нг/г). Также следует отметить связь между концентрацией Hg в грибе и местом его произрастания. Наиболее заметна такая зависимость в грибах собранных в пунктах т.м. «Бакcharское» ($r=0,88$). Этим же объясняется и более высокие концентрации ртути в грузде и сыроежке, собранных на территории г. Томска ($r=0,63$).

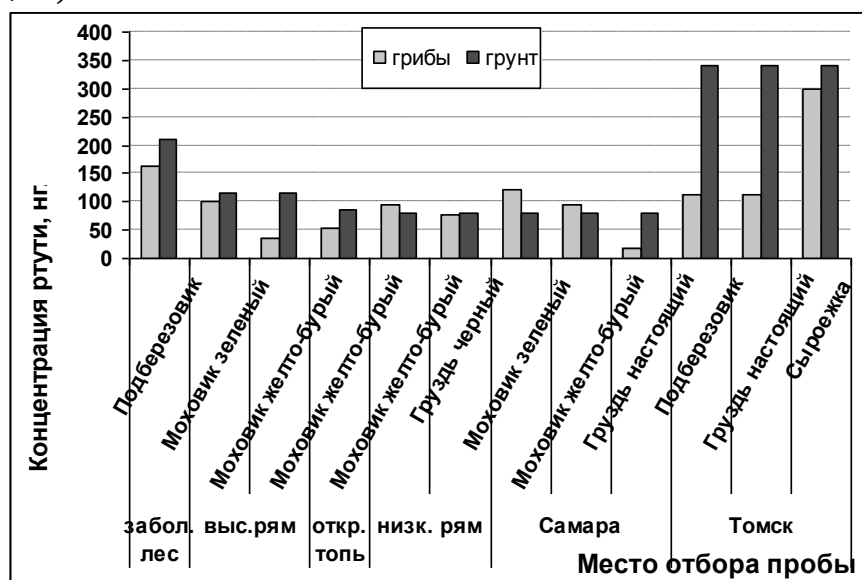


Рис. 7. Содержание ртути в грибах и субстрате, нг/г

Исследования, проведенные в различных видах лишайников на территории Томской области показали, что средние концентрации ртути в эпигейных лишайниках изменяются от 35 до 95 нг/г, в 3,5 раза выше концентрации ртути в эпифитных видах лишайников (табл. 8). Это объясняется высокой чувствительностью эпифитных видов лишайников к составу атмосферы, а так же тем, что они способны накапливать поллютант круглый год, даже при пониженных температурах воздуха.

Таблица 8

Содержание ртути в лишайниках

	Эпигейные					Эпифитные	
	Cladonia stellaris	Cladonia arbuscula	Cladonia deformis	Cladonia cornuta	Cladonia stygia	Evernia mesomorpha	Usnea subfloridana
Hg, нг/г	35 (28-45)*	42 (38-45)	95 (86-102)	73 (67-77)	49 (46-53)	337 (316-366)	246 (235-269)

Примечание: * - среднее(min-max)

Среднее содержание ртути во мхах Томской области варьирует от 28 до 78 нг/г (рис. 8). Неоднородность в содержании Hg, в общем, не зависит от места отбора пробы, а также от концентрации поллютанта в субстрате, за исключением т.м. «Бакcharское» ($r=0,65$).

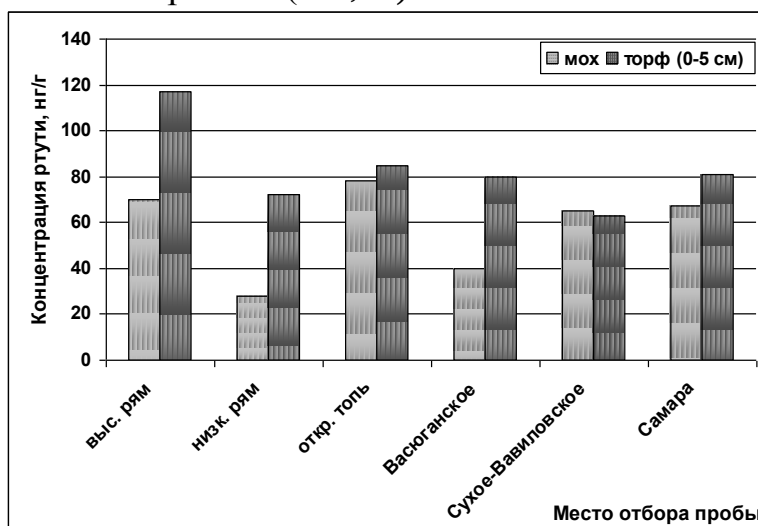


Рис. 8. Среднее содержание ртути в сфагновых мхах, нг/г

Для определения интенсивности извлечения ртути из почв растительностью был рассчитан **коэффициент биоаккумуляции** (табл. 9), позволяющий оценить величину биодоступных соединений ртути в субстрате, $K_6 = C_6 / C_c$, где C_6 - содержание ртути в биообъекте, нг/г; C_c - содержание ртути в субстрате, нг/г (Добровольский, 2003).

Полученные концентрации ртути в грибах, лишайниках и мхах, собранных в Томской области, сопоставимы с данными, полученными для других регионов Западной Сибири и других стран мира. K_6 эпигейных видов лишайников и мхов, а также всех исследованных грибов, за исключением дождевиков, свидетельствует о биологическом захвате ртути. Коэффициент биоаккумуляции у дождевиков говорит о накоплении Hg.

В результате проведенных исследований по изучению содержания и особенностей накопления ртути в биообъектах на территории Томской области выявлено, что содержание ртути соответствует данным,

полученным другими исследователями как на территории Западной Сибири и России, так и в мире. При этом наиболее предпочтительными в качестве биоиндикаторов ртутного загрязнения являются лишайники и мхи. Механизмы накопления ртути деревьями изучены недостаточно и требуют дальнейшего исследования. Грибы вызывают интерес для исследования накопления ртути с точки зрения употребления в пищу.

Таблица 9

Содержание ртути в биообъектах Западной Сибири

Место отбора пробы	Природный объект	Hg, нг/г	$K_6 = \text{CHg}_{\text{раст}} / \text{CHg}_{\text{почв}}$	Литературный источник
Грибы				
Алтайский край	груздь	35	0,76	Аношин и др., 1995
	дождевик	790-5130/1780	128	
	подберезовик	290-570/393		
	моховик	47		
Республика Алтай	дождевик	790-5600/2393	7,3-48,5	
Новосибирская область	дождевик	630-5400/3015		
Томская область	груздь	14-118/71	0,2-1,24	Ляпина и др., 2009
	дождевик	1271-3250/2241	26,3	
	подберезовик	110-171/137	0,3-0,77	
	моховик	37-107/84	0,31-1,5	
Лишайники				
Алтайский край	эпигейные	1-380/63		Аношин и др., 1995
Республика Алтай	эпигейные	1-160/52		
	эпифитные	140-320/230		
Новосибирская область	эпигейные	30-160/64		Свирко и др., 2006
	эпифитные	160-420/380		
Томская область	эпигейные	35-95/59	0,37-1,01	Ляпина и др., 2009
	эпифитные	233-366/291		
Мхи				
Алтайский край	зеленый	27-460/104		Аношин и др., 1995
Республика Алтай	зеленый	35-880/163		
Томская область	сфагнум	27-90/58	0,39-1,03	Ляпина и др., 2009

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

- По результатам измерений содержания ртути в твердом осадке снега и почвах г. Томска и расчета основных экогеохимических показателей Советский, Октябрьский и Ленинский районы испытывают повышенную ртутную нагрузку. Кировский район можно назвать относительно чистым. В Томске формирование ореолов рассеяния ртути связано с деятельностью ряда промышленных предприятий, расположением автомагистралей, рельефом города и преобладающим направлением ветров. Источниками поступления ртути в окружающую среду г. Томска может являться ГРЭС-2, шпалопропиточный, радиотехнический, электромеханический заводы, ООО «Эмальпровод», фармфабрика, а также автотранспорт. Рекомендуется и дальше продолжать наблюдения за уровнем содержания ртути в почвах и снеговом покрове районов города.
- Характер распределения Hg в вертикальном профиле всех исследованных торфяных залежей обусловлен природно-климатическими, гидрогеохимическими, и антропогенными факторами. Содержание ртути в торфяных почвах зависит от их общетехнических свойств, наличия

геохимического барьера, условий болотообразования, химического состава торфа. Наблюдается отчетливое обогащение Hg в верхних 60 см торфяных профилей как нативных, так и антропогенно-нарушенных болотных экосистем, характеризующих вторую половину XX - начало XXI в. с выделением четких временных интервалов накопления ртути. Подобное распределение по глубине выявлено другими исследователями и отражает общемировые тенденции по использованию Hg в последние 100 лет. Исследование содержания ртути в годовых кольцах всех исследованных деревьев также выявило увеличение Hg к концу XX в. Для выявления особенностей накопления ртути в торфяной залежи и древесине необходимы дополнительные исследования.

- Полученные в ходе исследования биообъектов Томской области данные по содержанию ртути соответствуют приведенным в литературе, близки к фоновым и не превышают ПДК. В качестве наиболее информативных индикаторов ртутной нагрузки в городах, вблизи промышленных объектов Томской области рекомендуется использовать мхи, эпифитные виды лишайников.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Работы, опубликованные в изданиях, входящих в перечень ВАК:

Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А., Ипполитов И.И. Исследование содержания ртути в природных объектах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2009. №1. С. 3-8.

Головацкая Е.А. Ляпина Е.Е. Распределение валовой ртути в профиле торфяных почв Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2009. №2. С. 299-306.

Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А., Ипполитов И.И., Прейс Ю.И. Ртуть в природных объектах Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 2009. №17. С. 167-173.

Работы, опубликованные в других изданиях:

Ляпина Е.Е. Распределение ртути в почвогрунтах г. Томска / Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-м тысячелетии: Материалы 3-й Всероссийской конференции молодых ученых. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН. 2006. С. 500-503.

Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А., Головкова Д.С. Концентрация ртути в хвое / Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы рос. конф. / под ред. М.В. Кабанова. - Томск: Аграф-Пресс. 2007. С. 279-282.

Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А., Прейс Ю.И. Содержание ртути в торфоболотных экосистемах Западной Сибири / «Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте»: Сборник статей в двух частях. Ч.2 / под ред. Кирпотина С.Н. - Томск: Издательство Томского политехнического университета. 2007. С. 203-210.

Ляпина Е.Е., Несветайло В.Д., Ипполитов И.И. Исследования распределения ртути в годовых кольцах деревьев / Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Мат-лы рос. конф. / под ред. М.В. Кабанова. - Томск: Аграф-Пресс. 2007. С. 277-279.

- Ляпина Е.Е., Таловская А.В. Ртуть в снеговом покрове г. Томска / «Контроль и реабилитация окружающей среды»: Материалы симпоз. / под общ. Ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. Томск: Аграф-пресс. 2008. С. 299-301.
- Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А. Биоаккумуляции ртути растительностью г. Томска / Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов: сборник трудов II международного экологического конгресса ELPIT 2009. Тольятти: ТГУ, 2009. Т. 1. С. 335-340.
- Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А. Ртутный биомониторинг торфоболотных экосистем Западной Сибири / Материаловедение, технологии и экология в 3-м тысячелетии: Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых. - Томск: Изд-во института оптики атмосферы СО РАН. 2009. С. 656.
- Ляпина Е.Е., Прейс Ю.И., Бобров В.А. Особенности накопления ртути в торфяных отложениях Западной Сибири / «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири»: Материалы международной научно-практической конференции. - Томск: «Ветер». 2009. С. 298.
- Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А. Ртутный биомониторинг городских и торфоболотных экосистем Западной Сибири / Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. Материалы VI - Международной научно-практической конференции. Т. II. Семей. 2010. С. 318-321.
- Ляпина Е.Е. Ртуть в окружающей среде г. Томска / электронный сборник тезисов 5-ой Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 28 ноября – 2 декабря 2010 г.), секция: Геоэкология, гидрогеология, инженерная геология и природопользование. <http://sibconf.igm.nsc.ru>