

*Е.М. Турсуналиева*

## **СОДЕРЖАНИЕ И ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ РТУТИ В ЛИСТЬЯХ ТОПОЛЯ В ГОРОДАХ СИБИРИ**

**Аннотация.** Рассмотрена проблема техногенной эмиссии ртутью в населенных пунктах Сибирского региона по данным опробования и атомно-абсорбционного анализа листьев тополя. Выявлены аномальные концентрации и ореолы рассеяния ртути на территории г. Новосибирск, г. Шелехов и в пос. Акташ. Определены основные источники эмиссии ртути на урбанизированных территориях Сибири.

**Ключевые слова:** ртуть, листья тополя, урбанизированная территория, Новосибирск, Сибирь.

### **Об авторе:**

Аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: [tursunalieva.em@gmail.com](mailto:tursunalieva.em@gmail.com)

### **Введение**

С каждым годом процесс урбанизации стремительно возрастает, вызывая необходимость постоянного контроля состояния окружающей среды в городах. Особое внимание уделяется методам экологической оценки компонентов природной среды в крупных промышленных центрах. Одним из таких методов служит биогеохимическая индикация, основанная на исследовании загрязнения атмосферного воздуха, почвенно-растительного покрова урбанизированных территорий химическими элементами и соединениями с использованием различных биообъектов, включая листья растений [1].

Листья тополя – естественный фильтр приземного атмосферного воздуха. Благодаря большой площади листовой поверхности, особому морфологическому и анатомическому строению они являются сезонным планшетом накопителем макро- и микроэлементов, газообразных [2] и взвешенных частиц [3], отображают геохимическую природную и промышленную специализацию урбанизированных территорий [4, 5].

Листья тополя могут выступать объектом исследования трансграничного переноса загрязняющих веществ на большие расстояния [6], численного анализа и моделирования атмосферных процессов выпадений примесей, в том числе ртути [7], а также биогеохимическим индикатором техногенного загрязнения в промышленных городах [8].

Ртуть является высоко опасным поллютантом, оказывающим значительное неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье населения. В 2014 г. Россия подписала Минаматскую конвенцию – глобальное соглашение по контролю ртутного загрязнения [9], с 2013 по 2017 гг. (с продлением) реализует пилотный проект под эгидой ЮНЕП по разработке кадастра ртутных загрязнений на своей территории [10].

Цель работы – оценить среднее содержание ртути в листьях тополя, выявить биогеохимические ореолы рассеяния ртути и источники их образования на урбанизированных территориях в Сибирском регионе.

### **Методика исследований**

В период с 2014-2017 гг. в августе-начале сентября отобрано 800 проб листьев тополя, преимущественно бальзамического (*Populus balsamifera L.*), в 33 населенных пунктах Сибири, от поселков до городов-миллионеров и агломераций. Они расположены на территории 4 республик, 3 краев и 6 областей. Листья отбирались по площадной сети 4×4 км, 2×2 км и 1×1 км согласно методическим рекомендациям [11]. Пробоподготовка включала в себя высушивание при комнатной температуре и ручное измельчение.

Анализ содержания ртути в пробах проводился на анализаторе «РА-915М» с приставкой «ПИРО-915+» методом атомной абсорбции в международном научно-образовательном центре «Урановая геология» при Инженерной школе природных ресурсов в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Для контроля точности измерений использовали стандартный образец «лист березы» (ГСО 8923-2007). Ошибка определения содержания ртути не превысила 10%.

### Результаты исследований и их обсуждение

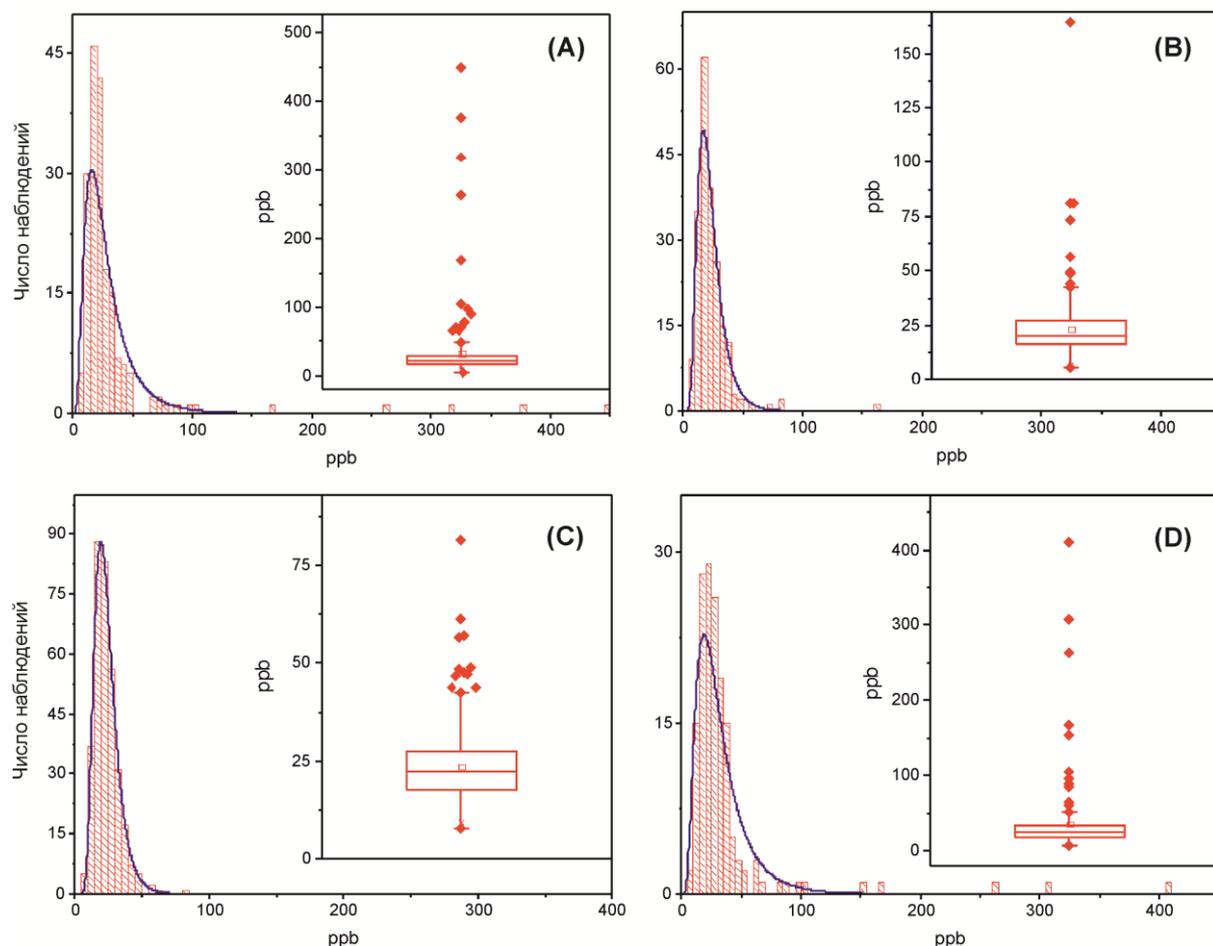
Результаты анализа ртути в листьях тополя сведены в базу данных, произведена их статистическая обработка. Оценки среднего содержания ртути в отдельных выборках населенных пунктов распределены по 4 группам урбанизированных территорий в зависимости от численности населения: 1) менее 100 тыс. чел., 2) от 100 до 500 тыс. чел., 3) от 500 тыс. до 1 млн. чел. и 4) более 1 млн. чел. (табл.1). Составные гистограммы распределения содержания ртути в листьях тополя для 4-х групп урбанизированных территорий Сибири представлены на рис. 1.

Таблица 1

**Среднее содержание ртути в листьях тополя на урбанизированных территориях Сибири**

Населенный пункт	Территориальное расположение	Население, тыс. чел. (2016)	Количество проб	Содержание ртути, ppb
1	2	3	4	5
<b>Населенные пункты с населением менее 100 тыс. чел.</b>				
пос. Акташ с рудником	Республика Алтай	2,4	5	246,4±85,0
г. Асино	Томская область	24,6	9	17,7±1,2
г. Колпашево	Томская область	23,1	9	20,2±2,6
г. Краснокаменск	Забайкальский край	53,2	26	31,7±1,5
г. Междуреченск	Кемеровская область	98,7	4	28,2±3,8
г. Мыски (округ)	Кемеровская область	44,3	8	21,6±1,4
г. Новоалтайск	Алтайский край	73,1	9	25,9±2,3
г. Саяногорск	Республика Хакасия	48,3	19	14,3±0,8
г. Славгород	Алтайский край	30,4	13	41,0±5,4
г. Сорск	Республика Хакасия	11,5	15	15,5±0,7
г. Стрежевой	Томская область	41,9	6	21,3±1,2
г. Тобольск	Тюменская область	98,4	21	19,4±1,1
г. Черемхово	Иркутская область	51,3	5	10,2±1,7
г. Черногорск	Республика Хакасия	74,3	17	19,9±0,8
пос. Усть-Баргузин	Республика Бурятия	7,1	3	22,8±0,5
г. Шелехов	Иркутская область	47,4	9	70,0±22,1
г. Яровое	Алтайский край	18,1	6	43,6±8,3
<b>Города с населением от 100 до 500 тыс. чел.</b>				
г. Абакан	Республика Хакасия	179,2	21	21,7±1,5
г. Ангарск	Иркутская область	226,8	20	19,6±1,9
г. Ачинск	Красноярский край	105,4	17	18,6±1,0
г. Северск	Томская область	114,6	17	34,3±2,7
г. Улан-Удэ	Республика Бурятия	430,6	33	18,2±0,8
г. Чита	Забайкальский край	343,5	30	18,3±0,9
г. Якутск	Республика Саха (Якутия)	303,8	8	12,4±1,9

1	2	3	4	5
<b>Города и агломерации с населением от 500 до 1000 тыс. чел.</b>				
г. Барнаул	Алтайский край	635,6	31	32,8±2,1
г. Иркутск	Иркутская область	623,4	27	22,5±1,3
г. Кемерово	Кемеровская область	553,1	40	17,2±1,2
г. Новокузнецк	Кемеровская область	551,3	42	26,8±1,3
г. Томск	Томская область	569,3	33	20,6±1,1
Томская агломерация	Томская область	825,3	71	23,7±1,2
г. Тюмень	Тюменская область	720,6	30	22,3±0,7
<b>Города и агломерации с населением более 1 млн. чел.</b>				
Иркутская агломерация	Иркутская область	1085,6	60	30,4±4,0
г. Красноярск	Красноярский край	1066,9	35	26,5±1,1
Кузбасская агломерация	Кемеровская область	1323,8	60	27,2±1,9
г. Новосибирск	Новосибирская область	1584,1	38	56,0±12,6
г. Омск	Омская область.	1178,1	30	28,6±1,7



**Рис. 1.** Распределение содержания ртути в листьях тополя (медиана, 25-75% квантили, доверительные интервалы, аномальные значения) по группам населенных пунктов с населением: менее 100 тыс. чел. (А), от 100 до 500 тыс. чел. (В), от 500 до 1000 тыс. чел. (С), более 1 млн. чел. (D)

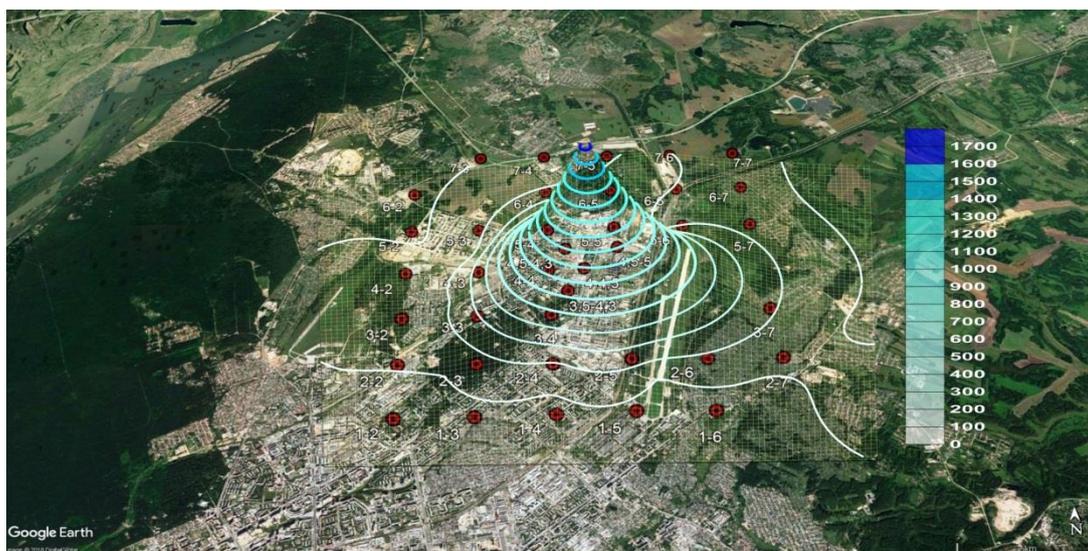
Среднее содержание ртути в совокупной выборке составляет  $25 \pm 2,9$  ppb (медианное значение 23 ppb), которое можно принять за региональный фон. Превышение регионального фона ртути в листьях тополя более чем в 2 раза наблюдается в поселке Акташ, г. Шелехов и г. Новосибирск.

Высокий уровень среднего содержания ртути в листьях наблюдается в Республике Алтай в районе пос. Акташ, в промышленной зоне бывшего Акташского горно-металлургического предприятия, обрабатывавшего одноименное месторождение ртути [12]. Биогеохимический ореол ртути, протяженностью более 7 км, обнаружен на окраине г. Шелехов с эпицентром в районе свалки твердых бытовых отходов [13] вблизи развязки автомагистралей – объездной и М55 «Байкал». На территории Калининского района г. Новосибирска в зоне влияния Новосибирского завода химконцентратов и его хвостохранилища по листьям тополя выявлен ореол ртути площадью около  $50 \text{ км}^2$  [14].

Для заверки и идентификации выявленного ранее биогеохимического ореола рассеяния ртути в г. Новосибирске нами в августе 2017 г. произведен повторный отбор 38 проб листьев тополя на территории Калининской промышленной зоны по сети  $1 \times 1 \text{ км}$  со сгущением до 500 м вблизи границ Новосибирского завода химконцентратов (НЗХК). Завод является одним из крупных и высокотехнологичных промышленных предприятий ядерно-топливного цикла. Также он является крупнейшим в стране потребителем ртути (около 24 тонн/год) для производства лития [10].

Фактическое количество выбросов ртути в атмосферу за период 2010-2015 гг. по опубликованным отчетным данным предприятия составило 0,57 тонны. На территории промышленной площадки завода выявлено 6 техногенных аномалий в верхнем метровом слое грунта, где содержится 26-29 тонн ртути. Общий объем захороненной ртути оценивается здесь по литературным данным в 33,7 тонны [15].

Максимальная концентрация ртути в листьях тополя (1697 ppb) установлена вблизи северо-западной границы промышленной площадки НЗХК. Это значение превышает средний региональный уровень ртути в листьях тополя в городах более чем в 65 раз. Пространственное расположение биогеохимического ореола рассеяния ртути на территории северной части г. Новосибирска по данным опробования листьев тополя представлено на рис. 2.



**Рис. 2. 3D модель биогеохимического ореола рассеяния ртути (в ppb) в северной части г. Новосибирска по данным опробования листьев тополя**

Биогеохимический ореол рассеяния ртути с концентрациями более 100 ppb имеет изометричную форму и охватывает промышленные зоны Калининского, часть Дзержинского районов, а также близлежащие жилые массивы. Северный и западный фланги ореола не оконтурены.

### **Выводы**

1. Региональный фон ртути в листьях тополя в городах Сибири составляет  $25 \pm 2,9$  ppb. Максимальный уровень средних концентраций ртути наблюдается в листьях тополя в районе пос. Акташ в Республике Алтай, где в прошлом веке обрабатывалось одноименное месторождение ртути. Высокие средние содержания ртути выявлены в г. Новосибирск и г. Шелехов, на территории которых действуют источники эмиссии ртути.

2. В г. Новосибирске установлен факт воздушного переноса ртути на значительное расстояние от промышленной площадки Новосибирского завода химконцентратов и биогеохимический ореол рассеяния ртути в приземном слое атмосферы на площади около 50 км<sup>2</sup>, формирующийся в летний период и наблюдаемый в течение двух лет.

3. На окраине г. Шелехов выявлен биогеохимический ореол ртути, протяженностью более 7 км в районе несанкционированной городской свалки, что является следствием существующей проблемы в системе утилизации и захоронения твердых коммунальных отходов, сбора отработанных ртутьсодержащих ламп.

4. Анализ содержания ртути в листьях тополя – сезонном биогеохимическом планшете-накопителе металла, позволяет контролировать состояние приземного атмосферного воздуха и эффективно выявлять источники аэротехногенного загрязнения ртути локального и регионального масштабов на урбанизированных территориях.

*Автор выражает искреннюю благодарность научным руководителям д.г.-м.н., профессору Л.П. Рихванову; к.г.-м.н., доценту Д.В. Юсупову; аналитику-консультанту к.г.-м.н., научному сотруднику Е.Е. Ляпиной за научное сопровождение данного исследования, а также сотрудникам, аспирантам и студентам кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ за оказанную помощь в отборе проб.*

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФ (грант № 15–17–10011).*

### **Библиографический список**

1. Ташекова А.Ж., Торопов А.С. Использование листьев растений как биогеохимических индикаторов состояния городской среды // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 5. – С. 114–124.
2. Assad M., Parelle J., Cazaux D., Gimbert F., Chalot M., Tatin-Froux F. Mercury uptake into poplar leaves // Chemosphere. – 2016. – Vol. 146. – P. 1–7.
3. Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Судыко А.Ф. Биогеохимическая индикация территорий с использованием информации об элементном и минеральном составе листьев деревьев // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: V Международная научно-практическая конференция. – Воронеж-Севастополь: Изд-во «Научная жизнь», 2017. – С. 207–209.
4. Рихванов Л.П., Юсупов Д.В., Барановская Н.В., Ялалтдинова А.Р. Элементный состав ливы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбасистем // Экология и промышленность России. – 2015. – № 6. – С. 58–63.
5. Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Ялалтдинова А.Р. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 6. – С. 25–36.
6. Робертус Ю.В., Удачин В.Н., Рихванов Л.П., Кивацкая А.В., Любимов Р.В., Юсупов Д.В. Индикация компонентами природной среды трансграничного переноса загрязняющих веществ на тер-

- риторию Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 9. – С. 39–48.
7. Рапута В.Ф., Юсупов Д.В., Ярославцева Т.В., Рихванов Л.П., Ляпина Е.Е. Численный анализ пространственного распределения ртути в листьях тополя г. Барнаула // XII Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: Тезисы докладов российской конференции. – Томск: ООО «Офсет центр», 2017. – С. 229–230.
  8. Ляпина Е.Е., Юсупов Д.В., Турсуналиева Е.М., Осипова В.В. Оценка валового содержания ртути в листьях тополя на территории Новокузнецкой агломерации // Envigomis 2016 международная конференция и школа молодых ученых по измерению, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. – Томск: ИМКЭС СО РАН, 2016. – С. 275–278.
  9. Минаматская конвенция о ртути // ЮНЕП, ООН, 2013. – 65 с.
  10. Пилотный проект по формированию кадастра ртутных загрязнений в РФ. [Электронный ресурс]- URL: <https://www.mercury2017.ru/dokumenty>
  11. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под. ред. Н.Г. Зырина, С.Г. Малахова. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 108 с.
  12. Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В. Особенности ртутного загрязнения окружающей среды в районе Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай) // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 48–55.
  13. Пережогин А.Н., Сафронов Н.П. Гигиеническая оценка качества окружающей среды в городе Шелехов (Иркутской области) // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2013. – № 3 (91). – С. 109–113.
  14. Юсупов Д.В., Ляпина Е.Е., Турсуналиева Е.М., Осипова В.В. Ртуть в листьях тополя на территории Калининской промышленной зоны г. Новосибирска // Экологические проблемы региона и пути их решения: Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-ВООМ». – Омск: Литера, 2016. – С. 403–408.
  15. Владимиров А.Г., Бабушкин А.В., Белозеров И.М., Островский Ю.В., Владимиров В.Г., Подлипский М.Ю., Минин В.А. Экогеохимия ртути и способы демеркуризации твердых ртутьсодержащих отходов в условиях Южной Сибири (на примере промплощадки ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – № 20. – С. 531–542.

**Е.М. Tursunaliyeva**

### **Concentration and dispersion haloes of mercury in poplar leaves in the Siberian region**

**Abstract.** *The problem of technogenic mercury emission in the towns of the Siberian region was considered according to the data of sampling and atomic-and-absorption analysis of poplar leaves. Abnormal concentration and dispersion haloes of mercury were identified in the territory of Novosibirsk, Shelekhov and in the village of Aktash, Russia. The main sources of mercury emission in urban areas of Siberia were defined.*

**Keywords:** *mercury, poplar leaves, urbanized territory, Novosibirsk, Siberia*