

УДК 581.52
ББК Е5

Л. В. Копылова,
Е. П. Якимова

Особенности накопления металлов древесными растениями в условиях городской среды¹

В работе впервые определено содержание некоторых тяжелых металлов в древесных растениях, произрастающих в различных районах Забайкальского края. Выявлена видоспецифичность в накоплении цинка, меди, марганца и железа. Полученные данные могут быть использованы в биоиндикации, экологическом мониторинге городской среды.

Ключевые слова: тяжелые металлы, древесные растения, концентрация.

L. V. Kopylova,
E. P. Yakimova

Peculiarities of Metals Accumulation by Woody Plants in Urban Environment

The content of some heavy metals in woody plants of different districts of Zabaikalsky Krai has been first determined. Species specificity in accumulating zinc, copper, manganese and iron has been revealed. The data obtained can be used in bioindication, ecological monitoring of urban environment.

Key words: heavy metals, woody plants, concentration.

Нарастающая интенсивность антропогенного воздействия на окружающую среду в современных городских условиях требует всестороннего изучения. Большое внимание привлекает проблема загрязнения биосферы тяжелыми металлами (ТМ), которые по опасности действия на живые организмы и объему выбросов прочно заняли одно из первых мест, наряду с отходами атомных электростанций и пестицидами. Поступая из различных источников, ТМ способны накапливаться в почвах и растениях. Большая часть элементов остается мобильной и включается в естественные биогеохимические циклы, но чрезмерное их накопление может оказаться причиной разрушения целостности природного комплекса. Древесные растения имеют большое значение в поглощении вредных веществ, поступающих с выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, являются одним из механизмов стабилизации экологической обстановки в городах [8; 11; 14].

В Забайкальском крае проведены исследования по аккумуляции ТМ в почве, древесных и травянистых растениях в различных районах г. Читы. Результаты исследований показали, что растения обладают не одинаковой металлоаккумуляцией [2; 3].

Целью нашей работы явилось изучение содержания меди, цинка, марганца и железа в древесных растениях в условиях городской среды. Исследования проводились как в г. Чите, так и на территориях, прилегающих к Забайкальскому горно-обогатительному комбинату (ГОК) в п. Первомайский (Шилкинский район) и Новоорловскому ГОК в п. Новоорловский (Агинский район) Забайкальского края. Изучение содержания и распределения тяжелых металлов в растениях данных территорий имеет важное научно-практическое значение.

Материалы и методы. Для исследований было отобрано 120 растительных образцов (листья, собранные в июле 2009 г.) доминирующих древесных видов, широко применяющихся в озеленении городов: *Populus balsamifera* L., *Ulmus pumila* L., *Malus baccata*

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» за 2011 г.

(L.) Borkh., *Caragana arborescens* Lam. [7; 9; 10; 13]. Для пространственного анализа содержания меди, цинка, марганца и железа были отобраны образцы растений по участкам: г. Чита, п. Первомайский, п. Новоорловский. Участок с отсутствием антропогенной нагрузки (фоновый) – с. Беклемишево (Читинский район, Забайкальский край). Отбор образцов и их подготовка к элементному анализу осуществлялись по общепринятым методикам [4]. Содержание ионов меди, цинка, марганца и железа определялось в мг/кг сухой массы, методом рентгенофлуоресцентного анализа, на рентгеновском спектрометре «S4 Pioneer» (Bruker AXS, Germany), в лаборатории рентгеновских методов анализа, института геохимии СО РАН, г. Иркутск.

Результаты и их обсуждение. Результаты сравнения содержания ТМ в растительных образцах различных участков показывают неоднозначность в накоплении элементов.

Цинк, медь, марганец и железо относятся к числу биогенных элементов, которые необходимы для нормального функционирования и жизнедеятельности живых организмов, в том числе и растений, их недостаток или избыток приводит к различным отклонениям в развитии организма.

Основные функции цинка в растениях связаны с метаболизмом углеводов, протеинов и фосфатов, образованием ДНК и рибосом. Элемент играет важную роль в формировании генеративных органов и плодоношении. Высокие концентрации цинка в растениях представляют реальную опасность (нарушается синтез хлорофилла), его недостаток задерживает их рост [15].

Медь в растениях присутствует в составе многих ферментов, комплексных соединений, играет важную роль в процессах фотосинтеза, дыхания, влияет на проницаемость сосудов ксилемы, контролирует образование ДНК и РНК. Медь оказывает влияние на механизмы, определяющие устойчивость растений к заболеваниям. При высоких концентрациях элемента происходит повреждение тканей, нарушение процессов фотосинтеза, хлороз [1; 12].

Марганец принимает активное участие в обмене веществ, улучшает физиологические процессы, способствует ускорению процессов роста и развития растений. Участвует в окислительных процессах, в восстановлении нитратов в процессе фотосинтеза, а также в антагонизме между марганцем и другими элементами, в частности с железом. Марганец входит в состав ферментов, повышает их активность, необходим для осуществления фотосинтетических реакций, связанных с выделением кислорода. Избыток марганца, так же, как и его недостаток, неблагоприятно сказывается на растениях [1; 12; 15].

Железо играет ведущую роль среди всех содержащихся в растениях микроэлементов. Органические соединения, в состав которых входит железо, необходимы в биохимических процессах, происходящих при дыхании и фотосинтезе. Это объясняется очень высокой степенью выраженности их каталитических свойств. Неорганические соединения железа также способны катализировать многие биохимические реакции, а в соединении с органическими веществами каталитические свойства железа возрастают во много раз. Железу принадлежит особая функция – непереносимое участие в биосинтезе хлорофилла. Поэтому любая причина, ограничивающая доступность железа для растений, приводит к тяжелым заболеваниям, в частности к хлорозу. Избыток железа действует на растение отравляюще. При его избытке также развивается хлороз [5].

Анализ полученных нами данных показывает, что максимальное содержание цинка наблюдается в образцах растений, произрастающих в п. Первомайский у *Populus balsamifera* – $156,0 \pm 1,40$ мг/кг и *Malus baccata* – $154,0 \pm 1,06$ мг/кг. Далее в порядке уменьшения концентрации цинка следуют *Populus balsamifera* – $147,3 \pm 1,40$ мг/кг в г. Чите и $117,3 \pm 1,09$ мг/кг в п. Новоорловский. Минимальная концентрация цинка наблюдается у *Caragana arborescens* – $16,0 \pm 0,58$ мг/кг и у *Malus baccata* – $16,0 \pm 0,58$ мг/кг в с. Беклемишево. Концентрация цинка на участках в п. Первомайский, п. Новоорловский, г. Чита превышает фоновую концентрацию от 1,5 до 10 раз (рис. 1, а). ПДК цинка – 300,0 мг/кг сухой массы не превышена ни в одном образце [6].

Наибольшее содержание меди наблюдается в растениях, произрастающих в п. Новоорловский, у *Caragana arborescens* – $8,0 \pm 0,13$ мг/кг и у этого же вида в п. Первомайский – $7,0 \pm 0,15$ мг/кг, у *Populus balsamifera* в п. Первомайский – $6,7 \pm 0,13$ мг/кг, наименьшее содержание меди определено у *Ulmus pumila* – $3,0 \pm 0,26$ мг/кг на фоновом участке в с. Беклемишево. На исследуемых участках концентрация меди у изучаемых видов *Populus balsamifera*, *Caragana arborescens*, *Ulmus pumila* выше фоновой в 1–1,5 раза, кроме *Malus baccata* – концентрация меди на всех участках практически равная (рис. 1, б). Ни на одной из изучаемых территорий не превышена ПДК меди – 20,0 мг/кг сухой массы [6].

Максимальное содержание марганца отмечается у *Populus balsamifera* – $168,7 \pm 1,53$ мг/кг, произрастающего в п. Новоорловский, у этого же вида $111,0 \pm 1,53$ мг/кг в п. Первомайский, у *Caragana arborescens* – $109,5 \pm 1,06$ мг/кг в г. Чите. Минимальное содержание марганца у *Ulmus pumila* – $24,7 \pm 1,04$ мг/кг в п. Первомайский. На фоновом участке концентрация марганца у *Ulmus pumila* – $78,0 \pm 1,53$ мг/кг выше, чем на трех остальных исследуемых участках. Концентрация марганца превышает фоновую на участках в п. Первомайский, п. Новоорловский и г. Чите у *Populus balsamifera*, у *Caragana arborescens* и у *Malus baccata* в 1–3 раза (рис. 1, с). ПДК марганца для растений не установлена, известна фитотоксичная концентрация марганца для древесных растений – 500,0 мг/кг сухой массы [6], и она не превышена ни на одном из участков.

Средняя концентрация железа максимальна у *Malus baccata* – $567,0 \pm 1,27$ мг/кг в п. Первомайский, далее в порядке уменьшения концентрации железа у *Populus balsamifera* – $250,3 \pm 1,04$ мг/кг в п. Новоорловский, у *Caragana arborescens* – $220,0 \pm 1,06$ мг/кг в г. Чите, у *Ulmus pumila* – $119,5 \pm 1,06$ мг/кг в п. Новоорловский. У всех исследуемых видов за исключением *Ulmus pumila* фоновая концентрация железа меньше в 1,5–4 раза, чем на остальных исследуемых участках (рис. 1, d). У *Ulmus pumila* концентрация железа на фоновом участке – $140,0 \pm 1,00$ мг/кг превышает таковые в п. Первомайский – $127,7 \pm 1,23$ мг/кг и п. Новоорловский – $119,5 \pm 1,06$ мг/кг. ПДК железа для растений не установлена, критической является концентрация 750,0 мг/кг сухой массы [6], в изучаемых видах она не превышена.

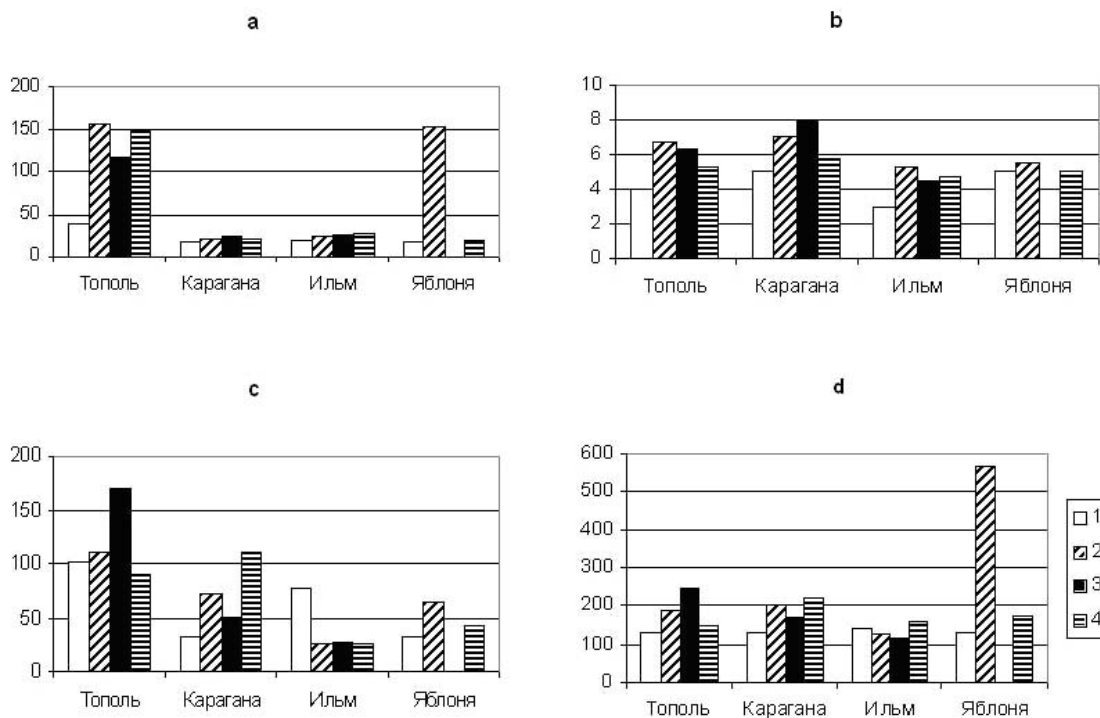


Рис. 1. Среднее содержание тяжелых металлов

в листьях древесных растений в условиях городской среды.

Примечание: содержание (мг/кг сухой массы): а – Zn; б – Cu; с – Mn; д – Fe

1 – с. Беклемишево (фоновый участок), 2 – п. Первомайский, 3 – п. Новоорловский, 4 – г. Чита

Высокие концентрации элементов в древесных растениях выявлены в п. Первомайский, п. Новоорловский и в г. Чите, что связано с повышенной антропогенной нагрузкой и значительным поступлением ТМ в окружающую среду с отходами производственной деятельности человека, с выхлопными газами автомобилей, с деятельностью ТЭЦ и ГРЭС, с бытовыми отходами и коммунальным хозяйством. Помимо вышеперечисленных городских источников загрязнения, в п. Первомайский и п. Новоорловский на окружающую среду воздействуют ГОКи.

Большое значение в поглощении ТМ имеет видовая принадлежность растений. Анализ полученных результатов выявил достоверные отличия при определении содержания элементов у 4 видов древесных растений (табл. 1). Наибольшая концентрация цинка содержится в листьях *Populus balsamifera*, наименьшая – *Caragana arborescens*. Максимальное содержание меди наблюдается в листьях у *Caragana arborescens*, затем у *Populus balsamifera*, минимальное у *Ulmus pumila*. Для *Populus balsamifera* характерно повышенное, по сравнению с другими видами, содержание марганца, а для *Malus baccata* – железа.

Таблица 1

Видовые особенности распределения Zn, Cu, Mn и Fe в листьях древесных растений (средние данные за сезон в мг/кг сухой массы)

	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>
<i>Populus balsamifera</i>	140,2 ± 1,36	6,1 ± 0,12	123,2 ± 1,45	195,7 ± 0,93
<i>Caragana arborescens</i>	22,0 ± 0,81	6,9 ± 0,14	78,0 ± 1,18	197,2 ± 123
<i>Ulmus pumila</i>	25,9 ± 1,20	4,8 ± 0,82	25,8 ± 1,14	135,7 ± 118
<i>Malus baccata</i>	86,4 ± 0,83	5,3 ± 0,15	53,5 ± 1,13	370,2 ± 1,17

Таким образом, каждый элемент поглощается разными видами древесных растений с разной интенсивностью.

В городских условиях среды существует необходимость снижения уровня загрязнения. Одним из самых доступных и простых способов защиты биосферы от загрязнения являются зеленые насаждения. Растения улавливают часть загрязнения, предотвращая тем самым поступление загрязняющих веществ в опасных количествах. Необходимо создавать разнообразные насаждения рядом с объектами, представляющими опасность техногенных выбросов ТМ, поскольку поглощение элементов специфично для каждого вида. Результаты наших исследований могут быть использованы при подборе ассортимента видов растений в озеленении города.

Таким образом, аккумуляция цинка, меди, марганца и железа в древесных растениях г. Читы, п. Первомайский и п. Новоорловский отличается неоднородностью. Наиболее высокие концентрации ТМ выявлены у растений, произрастающих в п. Первомайский и п. Новоорловский, территории которых прилегают к ГОКам и занимают крайне невыгодную позицию по отношению к источникам загрязнения. Следует отметить, что накопление цинка, меди, марганца и железа не превышает пределы допустимых концентраций в листьях. Результаты наших исследований согласуются с ранее полученными данными [2; 3].

Поглощение элементов видоспецифично. По поглощению ТМ все исследуемые древесные растения имеют следующие особенности: максимальное содержание цинка и марганца наблюдается у *Populus balsamifera*, железа – *Malus baccata*. Концентрация меди в исследуемых видах различается незначительно, наибольшая отмечается у *Caragana arborescens*. *Ulmus pumila* накапливает медь, марганец и железо в наименьших количествах, вероятнее всего, это связано с защитными физиологическими и биохимическими механизмами накопления данных металлов.

Полученные данные могут быть использованы для проведения экологического мониторинга техногенных районов Забайкальского края.

Список литературы

1. Власюк П. А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев: Наукова думка, 1969. 516 с.
2. Ефименко Е. А., Лескова О. А., Якимова Е. П. Роль растений в детоксикации тяжелых металлов в городской среде // Естественные и технические науки. М.: Спутник+, 2008. № 5. С. 59–63.
3. Ефименко Е. А., Лескова О. А., Якимова Е. П. Содержание ртути в растениях городской среды // Естественные и технические науки. М.: Спутник+, 2009. № 2. С. 126–130.
4. Зырина Н. Г., Малахова С. Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981. 109 с.
5. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
6. Казанцев И. В. Экологическая оценка влияния железнодорожного транспорта на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях полосы отвода: дис. ... канд. биол. наук. Самара, 2008, С. 83–91.
7. Красноборов И. М. *Ulmaceae* Ильмовые, вязовые // Флора Сибири. *Salicaceae – Amaranthaceae*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. Т. 5. С. 72.
8. Кулагин А. А., Шагиева Ю. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.
9. Курбатский В. И. *Caragana Lam.* Карагана // Флора Сибири. *Fabaceae (Leguminosae)*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1994. Т. 9. С. 13–15.
10. Курбатский В. И. *Malus Miller* – Яблоня // Флора Сибири. *Rosaceae*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. Т. 8. С. 25.
11. Убугунов В. Л., Кашин В. К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. 128 с.
12. Физиология растительных организмов и роль металлов / [под ред. Н. М. Чернавской]. М.: Изд-во МГУ, 1988. 157 с.
13. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. С. 896.
14. Черненькова Т. В. Реакция растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
15. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.