

УДК 504
ББК Е 081

Ольга Александровна Лескова
кандидат биологических наук, доцент,
Забайкальский государственный университет
(Чита, Россия), e-mail: OLeskova@zabspu.ru

Любовь Викторовна Копылова
кандидат биологических наук,
Забайкальский государственный университет
(Чита, Россия), e-mail: kopylova.70@mail.ru

Елена Павловна Якимова
кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой,
Забайкальский государственный университет
(Чита, Россия), e-mail: yakimova@yandex.ru

Накопление тяжёлых металлов в *Populus balsamifera* L. (Забайкальский край)*

В работе представлены результаты исследований по определению содержания железа, меди, цинка, никеля, ртути в органах *Populus balsamifera* (лист, корень, кора) в течение летнего вегетационного периода, на протяжении нескольких лет, с целью изучения особенностей накопления данных металлов исследуемым видом в условиях городской среды (г. Чита). Проведен анализ полученных данных по накоплению тяжёлых металлов в надземной и подземной фитомассе *P. balsamifera*. Представлено сравнение содержания данных металлов в органах исследуемого вида с предельно допустимыми концентрациями. Накопление железа, меди, цинка, никеля, ртути наблюдалось по барьерному типу. *P. balsamifera* определен как вид-концентратор цинка. Анализ показал, что исследуемый вид поглощает тяжелые металлы, аккумулируя их значительные количества в различных органах, тем самым способствуя временному выводу тяжёлых металлов из круговорота веществ. Ещё раз доказана роль данного вида и возможность его использования в озеленении городов Забайкальского края для биологической очистки окружающей среды от загрязнения тяжёлыми металлами.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, тяжёлые металлы, фиторемедиация, вид-концентратор, предельно допустимые концентрации.

Olga Aleksandrovna Leskova
Candidate of Biology, Associate Professor,
Zabaikalsky State University
(Chita, Russia), e-mail: OLeskova@zabspu.ru

Lyubov Viktorovna Kopylova
Candidate of Biology, Zabaikalsky State University
(Chita, Russia), e-mail: kopylova.70@mail.ru

Elena Pavlovna Yakimova
Candidate of Biology, Associate Professor, Head of Department,
Zabaikalsky State University
(Chita, Russia), e-mail: yakimova@yandex.ru

Accumulation of Heavy Metals in *Populus balsamifera* L. (Zabaikalsky Krai)

The paper presents some results of longitudinal research on iron, copper, zinc, nickel, mercury test in *Populus balsamifera* organs (leaf, root, bark) conducted in summer vegetative season in order to study some peculiar characteristics of the metals' accumulation in urban environment conditions of Chita. The data on accumulation of heavy metals in above-ground and underground phytomass of *P. balsamifera* are analyzed. The comparison of metal content in organs of the species studied with maximum allowable concentration is presented. The study observed a barrier type accumulation of iron, copper, zinc, nickel, mercury. *P. balsamifera* is described as species concentrator of zinc. The analysis shows that the species studied absorbs heavy metals accumulating them in different organs. As a result, this promotes accidental metal

* Работа выполнена в рамках Государственного задания вузу Минобрнауки РФ, № 4.3758.2011.

excretion from the cycling of matter. The paper proves the role of this species in landscape gardening of Zabaikalsky krai cities and its use in biological environmental cleaning up from heavy metal pollution.

Keywords: environmental pollution, heavy metals, phytoremediation, species concentrator, maximum allowable concentrations.

С ростом урбанизации происходит изменение городской среды, которая во многих отношениях отличается от природной. Основной причиной изменения является загрязнение тяжелыми металлами (ТМ) в силу их цитотоксического и мутагенного действия на все живые организмы, в том числе и на растения. ТМ занимают особое положение среди других техногенных загрязняющих веществ, поскольку, не подвергаясь физико-химической или биологической деградации, накапливаются в поверхностном слое почв и изменяют их свойства, в течение длительного времени остаются доступными для корневого поглощения растениями и активно включаются в процессы миграции по трофическим цепям. В их числе находятся как элементы с хорошо известными биологическими функциями и жизненно необходимые для живых систем, но переходящие в разряд токсичных при повышении некоторых пределов их содержания в биологических объектах, так и элементы, физиологическая роль которых выяснена недостаточно или неизвестна, и проявляющие токсический эффект уже при относительно низких концентрациях.

В настоящее время для удаления ТМ с загрязнённых территорий используют различные методы. Известно, что технологические методы недостаточно эффективны и экономически невыгодны. Восстановление окружающей среды при помощи растений вызывает широкий интерес во всём мире благодаря возможностям, которые открывает технология фиторемедиации для очистки атмосферы и верхних слоёв загрязнённых почв. Известно, что растительные организмы чувствительны к составу окружающей среды и активно реагируют на изменение её состояния. Разные виды растений обладают неодинаковой способностью накапливать загрязнители, в том числе и ТМ, что может широко применяться для снижения антропогенного воздействия на урбанизированных территориях и использования их в качестве перспективных аккумулянтов-фиторемедиантов.

Цель исследования – изучить содержание и особенности накопления некоторых ТМ в *Populus balsamifera* L. [13] в условиях городской среды (г. Чита).

Материалы и методы. Исследования проводятся на территории г. Чита (Забайкальский край) с 2007 г. Отбор проб растительного материала проводили согласно общепринятым методикам [1; 8]. Химический анализ на определение ТМ (ртути, никеля, меди, цинка, железа) проводили в лаборатории рентгеновских методов в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск). Ртуть определяли атомно-абсорбционным методом на анализаторе РА 915⁺, содержание железа, никеля, цинка, меди – рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре S4 Pioneer (Bruker, Germany). Повторность опыта трёхкратная.

Результаты и их обсуждение. Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.; *Populus*; *Salicaceae* Mirbel.) – дерево 25–30 м высоты и до 1 м в диаметре, с широкояйцевидной кроной [7]. Ствол прямой, корневая система мощная. Кора серая, гладкая, в нижней части ствола тёмно-серая, трещиноватая. Побеги серовато-зелёные или коричнево-бурые, цилиндрические, смолистые, липкие, душистые. Листья плотные, яйцевидно-овальные, эллиптические или ромбические, мелкопильчатые, 5–12 см длиной и шириной до 8 см на длинных голых черешках. Цветёт в апреле – мае. Семена созревают в конце мая – начале июня. Растёт в поймах рек, по береговым склонам, отмелям, на суглинистых и песчаных почвах; на вырубках и просеках встречается вместе с берёзой, осинкой и елью, на равнинах с ивой и ольхой. В культуре распространён повсеместно. Мезофит, олиготроф, засухо- и морозоустойчив, малотребователен к почвам, светолюбивый, среднетеневынослив. Рост быстрый. Служит источником древесины; лекарственное, техническое и кормовое растение. *P. balsamifera* является одним из наиболее устойчивых видов к газо- и пылевидным

загрязнениям. Токсичные соединения в основном накапливаются в листьях, что приводит к заболеваниям – хлорозам и некрозам; их площадь в условиях загрязнения составляет 10–30 %. В органах тополя отмечается накопление таких металлов, как стронций, кадмий, свинец, медь и др. [5; 6; 9; 12]. Ареал: Чукотка, Аляска, бореальные леса Северной Америки. В Сибирь ввезён в конце XIX столетия. Тополя имеют большое значение при озеленении и защитном лесоразведении благодаря скорости роста, декоративности, сравнительно малой требовательности к условиям произрастания, лёгкости размножения. Их рекомендуют применять для рекультивации нарушенных земель в зоне техногенного воздействия [3; 10].

Для выявления технического загрязнения ТМ исследовались листья *P. balsamifera* в июле 2007–2009 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание тяжёлых металлов в листьях *Populus balsamifera* в условиях городской среды (июль, 2007–2009 гг.)*

Год	Железо	Медь	Цинк	Никель	Ртуть
2007	206,7 ± 20,2	7,2 ± 0,4	172,7 ± 41,4	1,1 ± 0,1	0,056 ± 0,003
2008	177,7 ± 22,8	7,0 ± 0,6	121,3 ± 38,4	2,0 ± 0,1	0,037 ± 0,002
2009	150,0 ± 20,8	5,3 ± 0,3	144,7 ± 29,2	2,0 ± 0,01	0,028 ± 0,002
ПДК, норма, мг/кг сухого вещества*	20–300 (норма)	15–20 (ПДК)	150–300 (ПДК)	20–30 (ПДК)	–

*Примечание: данные ПДК (Ni, Cu, Zn) по Sauerbeck (1982); нормальное содержание (Fe) по Baker, Chesnin (1975).

Анализ проведённых исследований показал, что содержание железа в листьях в течение исследуемого периода 2007–2009 гг. было различным, превышение нормы не наблюдалось. В среднем концентрация металла в *P. balsamifera* составляла 178 мг/кг сухой массы. При сравнении годовой динамики в накоплении металла повышенное содержание отмечено в 2007 г., что, вероятно, связано с усиленной антропогенной нагрузкой в силу пожароопасного периода, большой задымлённостью и небольшим количеством осадков. Содержание меди в листьях в течение исследуемого периода практически оставалось без изменений и не превышало ПДК. В среднем концентрация металла в *P. balsamifera* составляла 6,4 мг/кг сухой массы. При сравнении годовой динамики к аккумуляции металла наименьшее содержание наблюдалось в 2009 г. Вероятно, данная закономерность связана с отсутствием медного загрязнения и климатическими особенностями в годы исследования [5]. В 2009 г. было зафиксировано наибольшее количество осадков, чем в период 2007–2008 гг. Содержание цинка в листьях данного вида в течение исследуемого периода различалось. Как известно из литературы [2], при отсутствии специфических источников загрязнения отмечена широкая вариация по среднему содержанию цинка в почвах и растениях. В среднем содержание металла за исследуемый период составило 146,2 мг/кг сухой массы. При сравнении годовой динамики к накоплению металла наименьшее содержание цинка было зафиксировано в 2009 г. Следует отметить, что *P. balsamifera* был отмечен как вид-концентратор цинка [4; 11]. В среднем содержание никеля *P. balsamifera* составляло 1,7 мг/кг сухой массы. При сравнении годовой динамики отличий в содержании никеля не отмечено, что, вероятно, было связано с отсутствием источников никелевого загрязнения в городе. Содержание ртути в *P. balsamifera* составляло 0,035 мг/кг сухой массы.

Также был проведён количественный анализ содержания ТМ в органах *P. balsamifera* в течение летнего вегетационного периода (табл. 2).

Установлено, что содержание железа в листьях в условиях города в среднем составляло 116,7–150 мг/кг сухой массы, при концентрации металла в условиях фона 130–150 мг/кг сухой массы. Следует отметить повышенную концентрацию металла к концу вегетацион-

ного периода. Была отмечена более высокая концентрация металла в корнях, при этом наблюдалось снижение содержания железа к концу вегетационного периода. Медь, в условиях города, вид накапливал в корнях в среднем 6,7–8 мг/кг сухой массы, изменений в течение вегетационного периода не отмечено. В коре стебля содержание металла практически аналогично содержанию в корнях. Содержание меди в условиях фона снижалось к концу вегетационного периода. Для *P. balsamifera* в условиях городской среды характерна повышенная концентрация цинка в листьях в 8,4 раза по сравнению с фоновой, при среднем содержании 144,7–260,3 мг/кг сухой массы. Следует отметить, что в условиях повышенной нагрузки наблюдалось увеличение концентрации цинка к концу вегетационного периода, в то время как в условиях фона – снижение концентрации металла. Содержание никеля составляло в среднем 6–2 мг/кг сухой массы, при этом следует отметить, что содержание металла снижалось к концу вегетации. В условиях фона концентрация никеля не изменялась в течение исследуемого вегетационного периода растения и не превышала 3,3–3,7 мг/кг сухой массы.

Таблица 2

Среднее содержание тяжёлых металлов в органах *Populus balsamifera* за вегетационный период в 2009 г.*

ТМ, мг/кг	Июнь			Июль		
	Лист	Корень	Кора	Лист	Корень	Кора
Fe	$116,7 \pm 6,7$ $130,0 \pm 13,8$	$746,7 \pm 96,4$ $880,0 \pm 57,8$	$613,3 \pm 94,3$ $1540,0 \pm 87,1$	$150,0 \pm 20,8$ $130,0 \pm 10,0$	$516,7 \pm 38,4$ $640,0 \pm 45,9$	$786,7 \pm 178,2$ $1850,0 \pm 91,4$
Cu	$5,0 \pm 0,6$ $5,0 \pm 0,1$	$6,7 \pm 0,3$ $7,0 \pm 0,2$	$6,3 \pm 0,7$ $7,0 \pm 0,1$	$5,3 \pm 0,3$ $4,0 \pm 0,3$	$8,0 \pm 0,6$ $7,0 \pm 0,3$	$6,0 \pm 1,0$ $6,0 \pm 0,1$
Zn	$244,3 \pm 66,5$ $54,0 \pm 11,1$	$136,3 \pm 37,3$ $65,0 \pm 21,4$	$74,0 \pm 11,2$ $114,0 \pm 43,1$	$144,7 \pm 29,2$ $39,0 \pm 8,7$	$80,7 \pm 6,2$ $77,0 \pm 15,6$	$75,7 \pm 15,9$ $143,0 \pm 25,8$
Ni	$2,0 \pm 0,1$ $2,0 \pm 0,1$	$3,3 \pm 0,7$ $6,0 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,1$ $4,0 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$ $2,0 \pm 0,1$	$3,7 \pm 0,3$ $5,0 \pm 0,1$	$3,0 \pm 0,1$ $4,0 \pm 0,1$
Hg	$0,027 \pm 0,005$ $0,020 \pm 0,002$	$0,029 \pm 0,001$ $0,052 \pm 0,002$	$0,023 \pm 0,001$ $0,009 \pm 0,001$	$0,028 \pm 0,002$ $0,024 \pm 0,002$	$0,019 \pm 0,003$ $0,015 \pm 0,001$	$0,015 \pm 0,002$ $0,018 \pm 0,001$

ТМ, мг/кг	Август		
	Лист	Корень	Кора
Fe	$150,0 \pm 39,9$ $150,0 \pm 21,1$	$326,7 \pm 12,2$ $210,0 \pm 43,2$	$726,7 \pm 94,8$ $460,0 \pm 54,7$
Cu	$4,3 \pm 0,9$ $2,0 \pm 0,1$	$7,0 \pm 0,1$ $7,0 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,1$ $4,0 \pm 0,1$
Zn	$260,3 \pm 30,9$ $31,0 \pm 5,6$	$78,7 \pm 7,8$ $54,0 \pm 8,6$	$158,3 \pm 14,3$ $37,0 \pm 3,5$
Ni	$2,3 \pm 0,3$ $2,0 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,1$ $2,0 \pm 0,1$	$4,0 \pm 0,6$ $3,0 \pm 0,1$
Hg	$0,098 \pm 0,001$ $0,126 \pm 0,001$	$0,031 \pm 0,002$ $0,064 \pm 0,002$	$0,035 \pm 0,001$ $0,036 \pm 0,001$

*Примечание: над чертой – показатели в условиях городской среды, под чертой – фоновые.

Для ртути было отмечено постепенное увеличение к концу вегетационного периода; концентрация элемента в корне в условиях города была меньше, чем в условиях фона в 1,8 и 2,1 раза соответственно, накапливаясь в среднем 0,019–0,031 мг/кг сухой массы и достигая максимальной концентрации к концу вегетации в условиях города и фона. Аналогично это было отмечено и для коры стебля. В целом, концентрация ртути была выше в листьях, чем в корнях и коре стебля, и увеличивалась к концу вегетации.

Выводы. Таким образом, исследуемый вид накапливал ТМ в течение 3 лет без превышения показателей ПДК и в пределах установленной нормы, что, вероятно, связано с барьерными свойствами растения к аккумуляции металлов и невысоким уровнем техно-

генного загрязнения в условиях города. Было выявлено, что медь, никель и железо преимущественно накапливаются в корнях исследуемого вида, цинк и ртуть – в надземной фитомассе растения.

Проведённое исследование по изучению особенностей накопления некоторых тяжёлых металлов органами *P. balsamifera* показало перспективность использования данного вида как вида аккумулянта-фиторемедианта при озеленении городских территорий Забайкальского края.

Список литературы

1. Алексеенко В. А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Наука, 1990. 142 с.
2. Алексеенко В. А., Алещукин Л. В., Беспалько Л. Е. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. 199 с.
3. Баталов А. А., Гиниятуллин Р. Х., Кагарманов И. Р. *Salicaceae* – их участие в формировании растительного покрова техногенных ландшафтов Южного Урала // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: тез. докл. конф., посвящ. памяти Л. М. Черепнина / ИЛиД СО АН СССР. Красноярск, 1991. С. 73–74.
4. Бессонова В. П. Влияние тяжёлых металлов на фотосинтетический аппарат *Lathyrus odoratus* // Днепропетровск: ДГУ, 1990. 10 с. / Деп. в ВИНТИ 06.06.90, № 3024. В90.
5. Войтюк Е. А. Аккумуляция тяжёлых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2011. 22 с.
6. Гиниятуллин Р. Х., Баталов А. А., Кулагин А. Ю. Содержание металлов у лиственницы Сукачёва в условиях промышленного загрязнения // Экология. 1999. № 1. С. 26–29.
7. Деревья, кустарники и лианы для зелёного строительства в Алтайском крае. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2004. С. 40–49.
8. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1965. С. 126–140.
9. Краснопёрова (Копылова) Л. В. и др. Накопление тяжелых металлов древесными растениями г. Читы / Л. В. Краснопёрова (Копылова), Е. А. Ефименко (Войтюк), О. А. Лескова, Е. П. Якимова // Проблемы озеленения городов Сибири и сопредельных территорий: материалы междунар. науч.-практ. конф. Чита, 2009. С. 64–67.
10. Кулагин А. А., Шагиева Ю. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.
11. Прохорова Н. В., Матвеев Н. М., Павловский В. А. Аккумуляция тяжёлых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1998. 131 с.
12. Розенберг Г. С. Биоиндикация: теория, методы, приложения. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 266 с.
13. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. С. 896.

References

1. Alekseenko V. A. Geohimija landshafta i okružhajushhaja sreda. M.: Nauka, 1990. 142 s.
2. Alekseenko V. A., Aleshhukin L. V., Bespal'ko L. E. Cink i kadmij v okružhajushhej srede. M.: Nauka, 1992. 199 s.
3. Batalov A. A., Ginijatullin R. H., Kagarmanov I. R. *Salicaceae* – ih uchestie v formirovanii rastitel'nogo pokrova tehnogennyh landshaftov Juzhnogo Urala // Flora i rastitel'nost' Sibiri i Dal'nego Vostoka: tez. dokl. konf., posvjashh. pamjati L. M. Cherepnina / ILiD SO AN SSSR. Krasnojarsk, 1991. S. 73–74.
4. Bessonova V. P. Vlijanie tjazhjolih metallov na fotosinteticheskij apparat *Lathyrus odoratus* // Dnepropetrovsk: DGU, 1990. 10 s. / Dep. v VINITI 06.06.90, № 3024. V90.
5. Vojtjuk E. A. Akkumuljacija tjazhjolih metallov v pochve i rastenijah v uslovijah gorodskoj sredy (na primere g. Chita): avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Ulan-Udje, 2011. 22 s.
6. Ginijatullin R. H., Batalov A. A., Kulagin A. Ju. Soderzhanie metallov u listvennicy Sukachjova v uslovijah promyshlennogo zagrjaznenija // Jekologija. 1999. № 1. S. 26–29.

7. Derev'ja, kustarniki i liany dlja zeljonogo stroitel'stva v Altajskom krae. Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 2004. S. 40–49.
8. Instrukcija po geohimicheskim metodam poiskov rudnyh mestorozhdenij. M.: Nedra, 1965. S. 126–140.
9. Krasnopjorova (Kopylova) L. V. i dr. Nakoplenie tjazhelyh metallov drevesnymi rastenijami g. Chity / L. V. Krasnopjorova (Kopylova), E. A. Efimenko (Vojtjuk), O. A. Leskova, E. P. Jakimova // Problemy ozelenenija gorodov Sibiri i sopredel'nyh territorij: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Chita, 2009. S. 64-67.
10. Kulagin A. A., Shagieva Ju. A. Drevesnye rastenija i biologicheskaja konservacija promyslennyh zagjaznitatelej. M.: Nauka, 2005. 190 s.
11. Prohorova N. V., Matveev N. M., Pavlovskij V. A. Akkumuljacija tjazhjol'nyh metallov dikorastushhimi i kul'turnymi rastenijami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e. Samara: Izd-vo Samarskogo un-ta, 1998. 131 s.
12. Rozenberg G. S. Bioindikacija: teorija, metody, prilozhenija. Tol'jatti: IJeVB RAN, 1994. 266 s.
13. Cherepanov S. K. Sosudistye rastenija Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelah byvshego SSSR). SPb.: Mir i sem'ja, 1995. S. 896.

Статья поступила в редакцию 16.12.2012