



ЭКОЛОГИЯ

УДК 502:504.05/06

М.В. Ларионов

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИСТЬЯХ ГОРОДСКИХ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Установлено, что приоритетными загрязнителями древесных растений в городах Среднего и Нижнего Поволжья являются свинец, цинк и медь. Главными аккумуляторами техногенных тяжелых металлов являются представители мелколиственных пород деревьев: *Ulmus pumila* L., *Ulmus laevis* Pall., *Padus avium* Mill., *Sorbus aucuparia* L.

Ключевые слова: загрязнение, тяжелые металлы, древесные насаждения, города, металлоаккумуляция.

M.V. Larionov

HEAVY METALS CONTENT IN URBAN TREES PLANTATION LEAVES

Lead, zinc and copper are determined to be the priority pollutants of woody plants in the Middle and Lower Volga region cities. The main heavy metals anthropogenic accumulators are small-leaved tree species representatives: *Ulmus pumila* L., *Ulmus laevis* Pall., *Padus avium* Mill., *Sorbus aucuparia* L.

Key words: pollution, heavy metals, trees plantations, cities, metals accumulation.

Растения являются природными биоаккумуляторами микроэлементов, в том числе тяжелых металлов [1, 2]. Негативное воздействие на устойчивость растений оказывают повышенные концентрации тяжелых металлов в тканях [3, 4].

В городских условиях важнейшую роль в поддержании экологического баланса территорий выполняют древесные насаждения [4, 6].

Таким образом, объектами исследований являлись древесные насаждения в городах Среднего и Нижнего Поволжья: в Саратовской области – гг. Балашов, Саратов; в Пензенской области – гг. Сердобск, Кузнецк; в Ульяновской области – гг. Инза, Димитровград.

Цель исследований, выполненных в 2006–2011 гг., заключалась в оценке металлоаккумулирующей способности разных видов деревьев, используемых в качестве озеленительного материала в районе исследований.

Пробные площади закладывались в соответствии с общепринятыми методиками полевых исследований [1, 2, 5] в трех главных функциональных зонах городов: промышленных, селитебных и рекреационных. Размер каждой пробной площади составил 2500 м² (50×50 м²). Данные размеры пробной площади обеспечили включение видового состава древесных растений, необходимого для проведения мониторинга модельных видов. Контроль включал пробные площади (4 шт.), заложенные в фоновых для Среднего и Нижнего Поволжья природных экосистемах Балашовского района Саратовской области. Данными природными, относительно ненарушенными экосистемами являлись участки пойменных лесов и разнотравных степей.

На пробных площадях отбирались образцы листьев у 14 видов древесных растений, которые встречаются в аборигенной флоре степного и лесостепного Поволжья (кроме видов-интродуцентов: *Acer negundo* L., *Ulmus pumila* L., *Tilia platyphyllos* Scop., *Robinia pseudoacacia* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Fraxinus pennsylvanica* March.) и в городских насаждениях различного функционального назначения: рекреационного, пыле- и ветрозащитного, водоохранного, декоративного, противозерозионного. Далее растительные образцы подвергались элементному анализу в лабораторных условиях.

В период с 2006 по 2011 г. отмечено относительное постоянство содержания тяжелых металлов в листьях модельных видов древесных растений, произрастающих на контрольных участках. Прослеживается незначительный рост концентрации Cu в листьях деревьев, что свидетельствует о начавшемся процессе техногенного загрязнения природных экосистем.

Для того чтобы оценить объемы среднегодового накопления тяжелых металлов в фитомассе листьев модельных видов, вычислены средние арифметические значения установленных концентраций элементов (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание техногенных тяжелых металлов в листьях древесных растений в контроле
(за период 2006–2011 гг.)**

Вид	M±m _M на ПП № 1–4, мг/кг сухого вещества			
	Pb	Zn	Mn	Cu
<i>Acer platanoides</i> L.	0,27±0,012	24,40±1,1	234,8±10,2	5,4±0,10
<i>A. negundo</i> L.	0,34±0,01	41,0±1,8	62,5±2,9	6,0±0,15
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	0,61±0,013	42,7±1,4	109,8±2,7	28,3±1,3
<i>U. pumila</i> L.	0,47±0,017	74,4±2,6	86,0±2,1	35,4±1,5
<i>Tilia cordata</i> Mill.	0,45±0,017	31,4±1,5	118,6±2,3	8,9±0,11
<i>T. platyphyllos</i> Scop.	0,37±0,014	31,7±3,1	70,6±2,5	6,7±0,21
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	0,37±0,015	19,2±0,12	56,02±1,4	10,0±0,12
<i>Pinus sylvestris</i> L.	0,33±0,014	15,8±0,11	31,47±1,2	7,4±0,11
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	0,43±0,019	54,9±2,1	65,1±2,6	3,2±0,09
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	0,37±0,018	46,5±1,8	47,9±1,4	6,8±0,30
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	–	–	–	–
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> March.	0,12±0,005	23,8±0,9	36,6±0,9	13,6±0,22
<i>Padus avium</i> Mill.	0,45±0,02	47,9±0,84	88,5±3,6	12,1±0,20
<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	0,39±0,008	49,4±1,3	61,4±1,4	12,6±0,38
Критическая концентрация (норматив)	10,0	–	334,0	150,0
ПДК(норматив)	0,5	134,0	–	20,0

Среднезвешенные величины концентраций техногенных тяжелых металлов в природных экосистемах (контроль) не превышали критических и предельно допустимых концентраций.

Среднеарифметические значения содержания тяжелых металлов в листьях древесных насаждений г. Балашова (Саратовская область) не превышали критических значений (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание техногенных тяжелых металлов в листьях древесных растений г. Балашова
(за период 2006–2011 гг.)**

Вид	M±m _M на ПП № 1–10, мг/кг сухого вещества			
	Pb	Zn	Mn	Cu
<i>A. platanoides</i> L.	0,59±0,03	41,1±0,77	286,7±13,4	22,9±0,24
<i>A. negundo</i> L.	1,03±0,02	100,8±4,6	143,6±2,1	20,8±1,0
<i>U. laevis</i> Pall.	1,05±0,04	92,2±3,5	155,9±3,9	90,8±3,6
<i>U. pumila</i> L.	0,78±0,03	139,7±6,6	176,0±4,3	78,8±3,2
<i>T. cordata</i> Mill.	0,71±0,03	59,9±1,9	194,8±5,2	52,4±2,5
<i>T. platyphyllos</i> Scop.	0,58±0,02	76,6±2,3	151,1±5,4	21,4±0,82
<i>C. vulgaris</i> Mill.	0,50±0,009	34,2±1,1	77,7±2,3	19,3±0,88
<i>P. sylvestris</i> L.	0,43±0,02	26,1±0,44	97,8±3,6	17,6±0,18
<i>S. aucuparia</i> L.	0,58±0,013	97,6±2,5	135,5±4,4	18,1±0,89
<i>R. pseudoacacia</i> L.	0,48±0,012	85,7±2,3	76,1±3,6	16,4±0,76
<i>A. hippocastanum</i> L.	0,45±0,011	155,9±4,6	109,1±4,9	20,2±0,75
<i>F. pennsylvanica</i> March.	0,32±0,013	66,5±1,7	52,3±2,0	36,5±1,7
<i>P. avium</i> Mill.	0,78±0,02	55,0±1,5	134,5±5,8	23,9±0,86
<i>B. verrucosa</i> Ehrh.	0,49±0,018	80,3±2,9	62,5±2,4	19,6±0,83
Критическая концентрация (норматив)	10,0	–	334,0	150,0
ПДК (норматив)	0,5	134,0	–	20,0

Примечание: здесь и далее курсивом выделено значение M±m_M, превышающее критическую концентрацию; жирным шрифтом выделено значение M±m_M, превышающее ПДК.

Наибольшие количества Pb (мг/кг сухого вещества) концентрировались в листьях *A. negundo* L. ($1,03 \pm 0,02$) и *U. laevis* Pall. ($1,05 \pm 0,04$), наименьшие – в *F. pennsylvanica* March. ($0,32 \pm 0,013$) и *P. sylvestris* L. ($0,43 \pm 0,02$). Максимальное содержание Zn (мг/кг сухого вещества) отмечено в листьях *A. hippocastanum* L. ($155,9 \pm 4,6$) и *U. pumila* L. ($139,7 \pm 6,6$), минимальное содержание – в *P. sylvestris* L. ($26,1 \pm 0,44$) и *C. vulgaris* Mill. ($34,2 \pm 1,1$ мг/кг сухого вещества). Максимум Mn накопилось в листьях *A. platanoides* L. ($286,7 \pm 13,4$ мг/кг сухого вещества), *T. cordata* Mill. ($194,8 \pm 5,2$) и *U. pumila* L. ($176,0 \pm 4,3$), минимум – в *F. pennsylvanica* March. ($52,3 \pm 2,0$) и *B. verrucosa* Ehrh. ($62,5 \pm 2,4$).

У ряда видов (*A. platanoides* L., *A. negundo* L., *U. laevis* Pall., *U. pumila* L., *T. cordata* Mill., *T. platyphyllos* Scop., *A. hippocastanum* L., *F. pennsylvanica* March. и *P. avium* Mill.) содержание Cu превышало ПДК. Максимальная металлоаккумуляция Cu выявлена у *U. laevis* Pall. ($90,8 \pm 3,6$ мг/кг сухого вещества) и *U. pumila* L. ($78,8 \pm 3,2$ мг/кг сухого вещества).

Накопление тяжелых металлов в фитомассе листьев г. Сердобска (Пензенская область) происходило в количествах, не превышающих ПДК (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание техногенных тяжелых металлов в листьях древесных растений г. Сердобска
(за период 2006–2011 гг.)**

Вид	М±m _м на ПП № 1–10, мг/кг сухого вещества			
	V	Pb	Zn	Co
<i>A. platanoides</i> L.	$3,0 \pm 0,14$	$0,40 \pm 0,02$	$11,9 \pm 0,44$	$3,3 \pm 0,07$
<i>A. negundo</i> L.	$5,9 \pm 0,17$	$0,50 \pm 0,02$	$5,3 \pm 0,07$	$6,1 \pm 0,12$
<i>U. laevis</i> Pall.	$5,6 \pm 0,21$	$0,50 \pm 0,021$	$45,4 \pm 1,1$	$6,4 \pm 0,08$
<i>U. pumila</i> L.	$8,9 \pm 0,32$	$0,44 \pm 0,017$	$45,9 \pm 1,4$	$7,4 \pm 0,07$
<i>T. cordata</i> Mill.	$6,3 \pm 0,25$	$0,37 \pm 0,013$	$30,3 \pm 0,89$	$3,3 \pm 0,09$
<i>T. platyphyllos</i> Scop.	$2,2 \pm 0,08$	$0,40 \pm 0,015$	$45,5 \pm 1,2$	$6,5 \pm 0,14$
<i>C. vulgaris</i> Mill.	$1,1 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,019$	$13,6 \pm 0,26$	$5,6 \pm 0,17$
<i>P. sylvestris</i> L.	$1,9 \pm 0,09$	$0,45 \pm 0,020$	$10,3 \pm 0,22$	$2,2 \pm 0,10$
<i>S. aucuparia</i> L.	$15,0 \pm 0,63$	$0,31 \pm 0,014$	$54,2 \pm 1,5$	$3,5 \pm 0,11$
<i>R. pseudoacacia</i> L.	$26,1 \pm 0,98$	$0,49 \pm 0,014$	$41,3 \pm 1,8$	$6,9 \pm 0,25$
<i>A. hippocastanum</i> L.	$15,3 \pm 0,67$	$0,37 \pm 0,011$	$87,0 \pm 3,2$	$5,3 \pm 0,25$
<i>F. pennsylvanica</i> March.	$1,0 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,012$	$32,2 \pm 1,5$	$1,9 \pm 0,05$
<i>P. avium</i> Mill.	$12,9 \pm 0,61$	$0,34 \pm 0,015$	$23,5 \pm 1,1$	$3,9 \pm 0,18$
<i>B. verrucosa</i> Ehrh.	$17,3 \pm 0,43$	$0,48 \pm 0,021$	$34,1 \pm 1,3$	$4,2 \pm 0,19$
Критическая концентрация (норматив)	2,0	10,0	–	5,0
ПДК (норматив)	–	0,5	134,0	10,0

V накапливался в образцах листьев всех исследованных растений с превышением критической концентрации. Максимальные концентрации V (мг/кг сухого вещества) зарегистрированы в *R. pseudoacacia* L. ($26,1 \pm 0,98$), *B. verrucosa* Ehrh. ($17,3 \pm 0,43$) и *A. hippocastanum* L. ($15,3 \pm 0,67$). Максимальные концентрации Pb (мг/кг сухого вещества) отмечены в *A. negundo* L. ($0,50 \pm 0,02$), *U. laevis* Pall. ($0,50 \pm 0,021$), *B. verrucosa* Ehrh. ($0,48 \pm 0,021$). Больше всего Zn концентрируется в *A. hippocastanum* L. ($87,0 \pm 3,2$) и *S. aucuparia* L. ($54,2 \pm 1,5$ мг/кг сухого вещества). Максимальное количество Co (мг/кг сухого вещества) выявлено в *U. pumila* L. ($7,4 \pm 0,07$) и *U. laevis* Pall. ($6,4 \pm 0,08$).

В процессе выполнения мониторинговых исследований в г. Камышине (Волгоградская область) получены результаты, представленные в таблице 4.

Таблица 4

**Содержание техногенных тяжелых металлов в листьях древесных растений г. Камышина
(за период 2006–2011 гг.)**

Вид	М±m на ПП №№ 1–10, мг/кг сухого вещества			
	Pb	Zn	Cd	Cu
<i>A. platanoides</i> L.	0,31±0,01	39,6±1,8	0,003±0,0001	20,8±0,82
<i>A. negundo</i> L.	0,40±0,012	97,9±4,6	0,011±0,0004	20,4±0,79
<i>U. laevis</i> Pall.	0,45±0,019	109,3±4,9	0,026±0,001	101,5±4,5
<i>U. pumila</i> L.	0,50±0,023	154,4±6,1	0,029±0,001	113,6±4,6
<i>T. cordata</i> Mill.	0,38±0,007	70,9±2,3	0,02±0,0009	55,1±2,1
<i>T. platyphyllos</i> Scop.	0,44±0,015	60,1±1,5	0,013±0,0004	24,4±1,2
<i>C. vulgaris</i> Mill.	0,45±0,018	34,4±0,76	0,008±0,0001	27,5±1,3
<i>P. sylvestris</i> L.	0,29±0,014	46,3±0,88	0,006±0,0001	32,0±1,5
<i>S. aucuparia</i> L.	0,31±0,012	101,2±4,7	0,018±0,0008	28,6±1,1
<i>R. pseudoacacia</i> L.	0,65±0,031	113,7±4,4	0,013±0,0005	25,6±0,88
<i>A. hippocastanum</i> L.	0,20±0,003	117,1±4,5	0,009±0,0003	31,1±0,95
<i>F. pennsylvanica</i> March.	0,62±0,022	74,0±2,2	0,002±0,0001	28,1±0,78
<i>P. avium</i> Mill.	0,38±0,014	66,3±2,3	0,003±0,0001	39,4±1,2
<i>B. verrucosa</i> Ehrh.	0,29±0,008	56,9±1,7	0,002±0,00009	22,5±0,85
Критическая концентрация (норматив)	10,0	–	–	150,0
ПДК (норматив)	0,5	134,0	0,35	20,0

Максимальное содержание Cu (мг/кг сухого вещества) зарегистрировано в золе *U. pumila* L. (113,6±4,6), *U. laevis* Pall. (101,5±4,5) и *T. cordata* Mill. (55,1±2,1). Pb в большей мере оказывал влияние на *R. pseudoacacia* L. (0,65±0,031) и *F. pennsylvanica* March. (0,62±0,022 мг/кг сухого вещества). Zn и Cd концентрировались в листьях деревьев в небольших количествах, которые не превышали ПДК. Лишь в образцах листьев *U. pumila* L. обнаружено превышение критической концентрации *U. pumila* L. (154,4±6,1 мг/кг сухого вещества).

В таблице 5 приведены элементные составы (ряды по убыванию концентраций) модельных растений и почв в районе исследований.

Таблица 5

**Элементный ряд техногенных тяжелых металлов в листьях
модельных растений и в почвенном покрове**

Исследуемые районы	Элементный состав листьев модельных растений	Элементный состав почв
Контроль	Mn > Zn > Cu > Pb	Mn > Zn > Cu > Pb
Балашов	Mn > Zn > Cu > Pb	Mn > Zn > Cu > Pb > Ni
Саратов	Mn > Zn > Cu > Pb > Cd > Hg	Mn > Zn > Pb > Cu > Co > Ni > Hg > Cd
Сердобск	Zn > V > Co > Pb	V > Zn > Co > Pb
Кузнецк	Fe > Zn > Pb > Cr > Co > Sb	Fe > Cr > Zn > Co > Pb > Sb
Камышин	Zn > Cu > Pb > Cd	Zn > Cu > Pb > Sb > Cd
Волжский	Zn > Cu > Ni > Pb > Cd > Hg	Zn > Pb > Cu > Ni > Cd > Hg
Инза	Zn > V > Cr > Pb	Cr > V > Zn > Pb
Димитровград	Zn > Cu > V > Cr > Pb	Cr > V > Cu > Pb > Zn > Ni

В сводной таблице 6 содержатся результаты вычисления сумм концентраций идентифицированных техногенных тяжелых металлов в листьях модельных растений района исследований.

Таблица 6

**Оценка суммарной металлоаккумулирующей
способности древесными растениями в районе исследований**

Город	Вид	Σ_{TM} , мг/кг сухого вещества
Балашов	<i>U. pumila</i> L.	395,3
	<i>A. platanoides</i> L.	351,3
	<i>U. laevis</i> Pall.	340,0
Саратов	<i>U. pumila</i> L.	625,1
	<i>U. laevis</i> Pall.	512,1
	<i>A. platanoides</i> L.	486,7
Сердобск	<i>A. hippocastanum</i> L.	108,0
	<i>R. pseudoacacia</i> L.	74,8
	<i>S. aucuparia</i> L.	73,0
Кузнецк	<i>P. avium</i> Mill.	470,5
	<i>T. platyphyllos</i> Scop.	404,3
	<i>U. laevis</i> Pall.	388,1
Камышин	<i>U. pumila</i> L.	268,6
	<i>U. laevis</i> Pall.	211,2
	<i>A. hippocastanum</i> L.	148,4
Волжский	<i>U. laevis</i> Pall.	291,3
	<i>U. pumila</i> L.	265,6
	<i>S. aucuparia</i> L.	209,7
Инза	<i>U. pumila</i> L.	158,6
	<i>A. hippocastanum</i> L.	150,3
	<i>A. negundo</i> L.	131,2
Димитровград	<i>U. pumila</i> L.	296,2
	<i>U. laevis</i> Pall.	276,3
	<i>S. aucuparia</i> L.	230,5

Примечание. Жирным шрифтом выделены представители рода *Ulmus* L.

Главными аккумуляторами техногенных тяжелых металлов в районе исследований являются представители мелколиственных пород деревьев. В первую очередь, это *U. pumila* L., *U. laevis* Pall., *P. avium* Mill., *S. aucuparia* L.

Из широколиственных пород-концентраторов тяжелых металлов выделяются *A. hippocastanum* L. (гг. Сердобск, Камышин, Инза), *R. pseudoacacia* L. (г. Сердобск), *A. platanoides* L. (гг. Балашов, Саратов) и *A. negundo* L. (г. Инза).

Литература

1. Гармаш Г.А. Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях вокруг металлургических предприятий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 1985. – 25 с.
2. Глазовская М.А. Геохимические основы и методики исследования природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 230 с.
3. Тарабрин В.П. Физиолого-биохимические механизмы взаимодействия загрязнений и растений // Растения и промышленная среда. – Днепропетровск: Наука, 1990. – С. 64–71.
4. Assunção A.G.L., Schat H., Aarts M.G.M. *Thlaspi caerulescens*, an attractive model species to study heavy metal hyperaccumulation in plants // New Phytol. – 2003. – V. 159. – P. 351–360.
5. Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry. – New York; London: Academic Press, 1966. – 241 p.
6. Dynamics of cadmium distribution in the intercellular space and inside cell in soybean roots, stems and leaves / S. Kevrešan [et al.] // Boil. Plant. – 2003. – V. 46, № 1. – P. 85–88.

