

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 574.21:582.4:504.064.2 (574.31)

doi: 10.17223/19988591/19/12

А.Ж. Есенжолова, М.С. Панин

Семипалатинский государственный педагогический институт (г. Семей, Казахстан)

БИОИНДИКАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ г. ТЕМИРТАУ

Изучено содержание тяжелых металлов в листьях древесных и кустарниковых растений г. Темиртау при различной антропогенной нагрузке. Выявлена значительная видовая специфика между накоплением тяжелых металлов в листьях и уровнем концентрации данных металлов в среде обитания. Установлено, что содержание тяжелых металлов в листьях древесных и кустарниковых растений г. Темиртау превышает их кларк в растительности суши, характеризуясь видовой спецификой. Наибольшая средняя концентрация цинка характерна для листьев *Betula pendula* Roth., *Populus alba* L., меди – *Crataegus oxyacantha* L., *Populus alba* L., кадмия – *Populus nigra* L., *Populus alba* L. и свинца – *Eleagnus argentea* Pursch., *Syringa vulgaris* L. Растения, произрастающие в промышленной и транспортной зонах, накапливают больше тяжелых металлов, чем в сельской и рекреационной зонах, что коррелирует и с почвенным загрязнением. Рассчитаны зольность листьев, коэффициент биологического поглощения элементов и корреляционные связи. Рекомендуются в качестве биоиндикаторов содержания тяжелых металлов в окружающей среде листья таких растений как *Betula pendula* Roth., *Acer negundo* L., *Eleagnus argentea* Pursch. и растения рода *Populus*, но адекватно той техногенной нагрузке, которой они подвергаются.

Ключевые слова: биоиндикация; листья; тяжелые металлы; функциональные зоны города.

Введение

В последние годы возрос интерес к экологическим проблемам и качеству окружающей природной среды в крупных промышленных регионах Казахстана, что обусловлено тенденцией роста выбросов вредных веществ, в частности тяжелых металлов (ТМ), в атмосферу городов. Так, в г. Темиртау находятся крупнейшие в республике предприятия черной металлургии (АО «АрселорМиттал Темиртау»), химической (АО «Темиртауский электрометаллургический комбинат», ТОО «Экоминералс»), строительной (АО «ЦентралАзия Цемент», АО «Карцемент»), теплоэнергетической промышленности, а также широко развита транспортная сеть. Среди городов Казахстана г. Темиртау занимает лидирующее место по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу: в 2010 г. этот показатель составил 296,05 тыс. т,

что составляет от общего количества выбросов по республике 13,3% [1]. Все это оказывает существенное влияние на загрязнение атмосферы города ТМ, которые относятся к числу наиболее опасных химических загрязняющих веществ. Поэтому контроль над содержанием их в урбоэкосистеме становится неотъемлемой частью комплекса природоохранных и мониторинговых мер.

В качестве биоиндикаторов загрязнения ТМ используются различные виды растений и различные их части. В данной работе в качестве биоиндикатора загрязнения атмосферы города ТМ использованы листья доминантных древесных и кустарниковых растений г. Темиртау. Листовая система является мощным воздушным насосом дерева, что обеспечивает поглощение, накопление значительных количеств загрязняющих веществ [2]. Именно поэтому листья древесных и кустарниковых растений в настоящее время широко используются для биоиндикации.

Цель данной работы – изучение биоиндикационного потенциала листьев древесных и кустарниковых растений г. Темиртау к аккумуляции ТМ при различной антропогенной нагрузке.

Материалы и методы исследования

Нами были исследованы следующие виды доминантных древесных и кустарниковых растений г. Темиртау: *Acer negundo* L. (клен ясенелистый), *Betula pendula* Roth. (береза повислая), *Crataegus oxyacantha* L. (боярышник обыкновенный), *Populus alba* L. (тополь белый), *Populus nigra* L. (тополь черный), *Rosa canina* L. (шиповник собачий), *Syringa vulgaris* L. (сирень обыкновенная), *Ulmus minor* Mill. (вяз малый), *Eleagnus argentea* Pursch. (лох серебристый).

Для объективной характеристики биоиндикационных качеств листьев древесных и кустарниковых растений необходимо учитывать их способность к накоплению ТМ адекватно той техногенной нагрузке, которой они подвергаются. Для этого были заложены пробные площадки в г. Темиртау с различной антропогенной нагрузкой: рекреационная (скверы, парки), селитебная (жилые дворы), транспортная (вдоль дорог) и промышленная зоны (непосредственно вблизи заводов).

На 8 (по две в каждой зоне) пробных площадках были отобраны 72 пробы листьев древесных и кустарниковых растений. Отбор проб листьев проводился в 2010 г. согласно стандартным методическим рекомендациям [3].

Отбор проб листьев проводился методом средней пробы в нижней части кроны деревьев с внешней ее стороны (по окружности), так как установлено, что такие пробы характеризуются наличием большого количества элементов. Для учета накопления ТМ в условиях городской среды брали образцы за основной период вегетации (август–сентябрь). Отбирали листья с ветвей 1–2-го года жизни на расстоянии 2–3 м от поверхности грунта. Далее пробы промывались трижды проточной и дважды – дистиллированной водой и доводились до воздушно-сухого состояния.

Параллельно с пробоотбором растительных образцов осуществлялся сбор образцов почвы. Отбор проб осуществлялся на глубине 0–20 см методом «конверта» путем осреднения материала из 5 частных проб. Пробы высушивались до воздушно-сухого состояния и просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Содержание ТМ в листьях и почве определяли атомно-абсорбционным методом с пламенной и электротермической атомизацией, прибор «SO-LAAR» серии М6 (фирма «THERMO ELEKTRON», США), анализы выполнялись в аналитическом центре Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск, Россия).

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась по Н.А. Плохинскому [4] с использованием программы Microsoft® Excel.

Для характеристики распределения элемента между живым веществом и абиотической средой рассчитан коэффициент биологического поглощения, представляющий собой отношение средних содержаний элементов в золе растений к концентрации в почве [5].

Результаты исследования и обсуждение

Выявленные колебания содержания ТМ в листьях древесных и кустарниковых растений обусловлены совокупным влиянием внутренних (генетических) и внешних (экологических) факторов (табл. 1).

По величине среднего содержания в листьях древесных и кустарниковых растений исследуемые ТМ располагаются в следующем убывающем порядке, мг/кг:

$$\text{Zn (52,5)} > \text{Cu (5,3)} > \text{Pb (1,4)} > \text{Cd (0,13)}.$$

Видовая разница в накоплении ТМ весьма значительна. Так, наибольшая средняя концентрация цинка характерна для листьев *B. pendula* Roth., *P. alba* L.; меди – *C. oxyacantha* L., *P. alba* L.; кадмия – *P. nigra* L., *P. alba* L. и свинца – *E. argentea* Pursch., *S. vulgaris* L. Таким образом, разным видам растений, произрастающим в пределах одного биогеоценоза (урбоэкосистемы), присуща различная селективная способность к накоплению ТМ. Поскольку данные виды древесных и кустарниковых пород растений накапливают достаточно высокие концентрации ТМ, их наиболее удобно использовать в качестве фильтров атмосферного воздуха, загрязненного данными элементами. Различие между максимальной и минимальной концентрациями цинка у 72 изученных проб листьев составляет 18,3 раза, меди – 7,1, кадмия – 13,3, свинца – 44 раза.

Из данных табл. 1 следует, что наибольший коэффициент вариации Zn, Cu, Cd и Pb составляет соответственно для листьев *B. pendula* Roth., *A. negundo* L., *R. canina* L., *P. alba* L.

Накопление ТМ в листьях различных видов древесных и кустарниковых растений г. Темиртау превышает их кларк в растительности суши [6], характеризуясь видовой спецификой. Так, концентрация цинка и кадмия в листьях *P. alba* L. превышает его кларк в растительности суши в 34,8 и

5,7 раза соответственно. Содержание кадмия в листьях всех видов растений г. Темиртау превышает кларк в растительности суши (от 1,1 до 8,5 раза), а содержание меди ниже этого показателя. Видовая особенность аккумуляции ТМ говорит о высоком биоиндикационном потенциале листьев древесных и кустарниковых растений к тем или иным элементам.

Т а б л и ц а 1

**Показатели содержания ТМ в листьях древесных и кустарниковых
пород растений г. Темиртау, мг/кг воздушно-сухой массы**

Вид растения	Zn	Cu	Cd	Pb	Зольность, %
<i>P. nigra</i> L. (n = 8)	$65,9 \pm 6,2$ 49,9–102,9 (26,7)	$6,0 \pm 0,3$ 4,6–7,3 (40,9)	$0,3 \pm 0,02$ 0,22–0,40 (20,0)	$0,9 \pm 0,06$ 0,7–1,2 (18,6)	$11,3 \pm 0,1$ 11,0–11,8 (2,7)
<i>P. alba</i> L. (n = 8)	$104,5 \pm 13,5$ 59,9–187,7 (36,5)	$6,5 \pm 0,5$ 3,9–9,1 (25,9)	$0,2 \pm 0,02$ 0,15–0,36 (29,8)	$1,0 \pm 0,2$ 0,5–2,1 (62,5)	$11,0 \pm 0,1$ 10,5–11,9 (4,0)
<i>A. negundo</i> L. (n = 8)	$35,3 \pm 4,5$ 14,7–56,8 (36,4)	$6,1 \pm 1,0$ 3,2–10,6 (71,3)	$0,06 \pm 0,006$ 0,04–0,09 (27,8)	$1,4 \pm 0,2$ 0,83–2,8 (57,4)	$11,4 \pm 0,2$ 10,6–12,4 (5,6)
<i>E. argentea</i> Pursch. (n = 8)	$25,4 \pm 4,0$ 10,4–43,5 (45,3)	$4,2 \pm 0,4$ 3,0–7,0 (51,6)	$0,1 \pm 0,008$ 0,08–0,14 (21,5)	$2,9 \pm 0,4$ 1,1–4,4 (39,6)	$7,2 \pm 0,1$ 6,6–7,8 (5,9)
<i>B. pendula</i> Roth. (n=8)	$96,2 \pm 19,5$ 30,0–190,6 (57,5)	$6,2 \pm 0,2$ 5,2–7,0 (41,5)	$0,1 \pm 0,009$ 0,1–0,16 (22,3)	$2,2 \pm 0,4$ 1,0–4,0 (51,9)	$6,9 \pm 0,2$ 6,5–8,4 (8,9)
<i>U. minor</i> L. (n = 8)	$27,8 \pm 2,3$ 17,3–38,6 (24,2)	$3,6 \pm 0,6$ 1,5–5,9 (53,1)	$0,05 \pm 0,003$ 0,05–0,07 (18,0)	$0,7 \pm 0,09$ 0,3–1,0 (36,6)	$11,9 \pm 0,1$ 11,5–12,3 (2,5)
<i>S. vulgaris</i> L. (n = 8)	$45,3 \pm 2,4$ 37,8–55,5 (15,4)	$5,3 \pm 0,3$ 4,3–7,1 (27,1)	$0,09 \pm 0,01$ 0,06–0,17 (36,7)	$2,7 \pm 0,4$ 1,0–4,3 (42,2)	$9,3 \pm 0,1$ 8,9–10,1 (3,9)
<i>R. canina</i> L. (n = 8)	$21,0 \pm 1,5$ 14,7–26,6 (20,4)	$3,1 \pm 0,4$ 2,0–6,1 (44,7)	$0,04 \pm 0,007$ 0,03–0,09 (44,4)	$0,2 \pm 0,04$ 0,1–0,5 (48,2)	$7,6 \pm 0,1$ 7,0–8,4 (6,8)
<i>C. oxyacantha</i> L. (n = 8)	$51,3 \pm 6,1$ 23,1–73,4 (33,8)	$6,6 \pm 0,4$ 5,1–8,5 (32,2)	$0,1 \pm 0,01$ 0,09–0,2 (34,6)	$0,6 \pm 0,06$ 0,3–0,8 (28,4)	$8,9 \pm 0,05$ 8,7–9,3 (1,8)
Почва (n = 8)	$89,1 \pm 15,0$ 25,3–159,8 (47,7)	$26,2 \pm 3,7$ 12,0–44,3 (40,6)	$1,3 \pm 0,20$ 0,60–2,3 (44,6)	$31,2 \pm 4,2$ 18,1–54,1 (38,5)	–
Кларк в рас- тительности суши [6]	30	8	0,035	1,25	–
ПДК в почве [7]	23	33	0,5	32	–
ПДК в почве [8]	300	100	3	100	–
Кларк в почве [9]	50	20	0,5	10	–

Примечание. В числителе – средняя арифметическая с ошибкой ($\bar{X} \pm \bar{S}$), в знаменателе – пределы колебаний (lim), в скобках – коэффициент вариации (C_v , %).

Причины высокой аккумуляции ТМ в листьях растений связаны как с атмосферным загрязнением, так и с высоким содержанием их в почве. Загрязнение почвенного покрова чаще всего происходит за счет атмосферных выбросов заводов цветной и черной металлургии, ТЭЦ, автотранспорта и других источников, таким образом, почва отражает загрязнение атмосферного воздуха за многолетний период. Так, из табл. 1 видно, что концентрация ТМ в почве превышает их ПДК в почве, принятые в Казахстане [7], и кларк почвы [9], а по ПДК в почве по Kloke [8] превышений нет. Например, валовое содержание цинка и кадмия в почве превышает ПДК почвы, принятые в Казахстане, в 3,8 и 2,6 раза, а превышение по кларку в почве составляет 1,7 и 2,6 раза соответственно.

Зольность представляет собой важный биогеохимический показатель, характеризующий соотношение минеральных и органических веществ в растении. Зольность можно считать показателем приспособленности растительных сообществ к данным условиям. Чем больше зольность, тем лучше приспособлено растение к условиям произрастания. Зольность растений позволяет получить представление о степени загрязнения атмосферного воздуха, характеризуя газопоглотительную способность растений [10].

По величине зольности древесных и кустарниковых растений были выделены значительные различия по видам. Так, максимальная зольность характерна для листьев *U. minor* L. (11,9%), *A. negundo* L. (11,4%), *P. nigra* L. (11,3%) и *P. alba* L. (11,0%), а минимальная – для *B. pendula* Roth. (6,9%) и *E. argentea* Pursch. (7,2%). Это говорит о высокой газопоглотительной способности листьев *A. negundo* L., *U. minor* L. и рода *Populus* по сравнению с другими видами, что подтверждают литературные данные [10]. Были рассчитаны корреляционные связи между содержанием ТМ в листьях древесных и кустарниковых растений от их зольности и концентрации ТМ в почве (рис. 1).

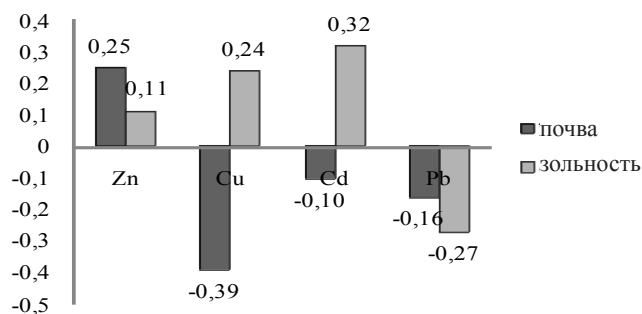


Рис. 1. Корреляционные зависимости содержания ТМ в листьях древесных и кустарниковых растений от их зольности и концентрации ТМ в почве

Отмечается, что по силе корреляционные связи проявляются по-разному для изученных элементов. Так, для цинка – это средняя прямая корреляци-

онная связь, а для свинца – обратная слабая. Для меди и кадмия корреляционная зависимость между содержанием их в листьях растений от концентрации их в почве обратная слабая (низкие корреляционные зависимости могут говорить о преобладании атмосферного поступления ТМ в листья древесных и кустарниковых растений г. Темиртау), а между зольностью – средняя прямая зависимость.

Слабые корреляционные связи показывают, что поступление и перераспределение ТМ в листьях определяются не только этими факторами, но также могут зависеть от таких параметров, как тип посадки древесных и кустарниковых растений, видоспецифическая аккумулятивная стратегия растений, рельеф местности, климатические условия и др.

Интенсивность техногенного воздействия на листья оценивалась при помощи коэффициента биологического поглощения (КБП). По средней величине КБП **цинка** в листьях различных видов древесных и кустарниковых растений представлен следующий убывающий ряд:

B. pendula Roth. (15,6) > *P. alba* L. (10,6) > *P. nigra* L. (6,5) > *C. oxyacantha* L. (6,4) > *S. vulgaris* L. (5,4) > *A. negundo* L. (4,3) > *E. argentea* Porsch. (3,9) > *R. canina* L. (3,1) > *U. minor* L. (2,6);

меди: *B. pendula* Roth. (3,4) > *C. oxyacantha* L. (2,8) > *P. alba* L. (2,2) ≥ *E. argentea* Porsch. (2,2) > *S. vulgaris* L. (2,1) > *P. nigra* L. (2,0) ≥ *A. negundo* L. (2,0) > *R. canina* L. (1,5) > *U. minor* L. (1,1);

кадмия: *P. nigra* L. (2,0) > *P. alba* L. (1,3) > *B. pendula* Roth. (1,1) > *E. argentea* Porsch. (1,0) > *C. oxyacantha* L. (0,84) > *S. vulgaris* L. (0,73) > *A. negundo* L. (0,40) ≥ *R. canina* L. (0,40) > *U. minor* L. (0,32);

свинца: *E. argentea* Porsch. (1,2) > *B. pendula* Roth. (1,0) > *S. vulgaris* L. (0,92) > *A. negundo* L. (0,39) > *P. alba* L. (0,28) > *P. nigra* L. (0,25) > *C. oxyacantha* L. (0,21) > *U. minor* L. (0,18) > *R. canina* L. (0,08).

По градации А.И. Перельмана [5] в листьях изученных растений цинк характеризовался для *B. pendula* Roth. и *P. alba* L. как элемент энергичного накопления, а для остальных – как элемент сильного накопления. Также элементом сильного накопления является медь для всех изученных листьев растений, кадмий – для *P. nigra* L., *P. alba* L., *B. pendula* Roth., *E. argentea* Porsch. и свинец – для *B. pendula* Roth. и *E. argentea* Porsch., для всех остальных листьев кадмий и свинец являются элементами слабого накопления и среднего захвата. При величине коэффициента больше 1 можно говорить о накоплении растением конкретного элемента, а значит, и о формировании биогеохимического барьера [11]. Таким барьером по отношению к ТМ в большинстве случаев можно считать листья *B. pendula* Roth., *P. alba* L., *P. nigra* L. и *E. argentea* Porsch.

Выявлено, что содержание ТМ в листьях, отобранных на участках с различной техногенной нагрузкой, значительно отличается (рис. 2). Так, листья, собранные в промышленной зоне, накапливают больше цинка и меди, имеют высокую зольность, а в транспортной зоне – кадмия и свинца. Таким

образом, растения, произрастающие в данных зонах, накапливают больше ТМ, чем в селитебной и рекреационной зонах. Например, содержание цинка в листьях *B. pendula* Roth. в промышленной зоне в 2,9 раза больше, чем в селитебной зоне, а свинца в листьях *P. alba* L. в транспортной зоне в 2,6 раза выше, чем в рекреационной зоне, это совпадает и с почвенным загрязнением.

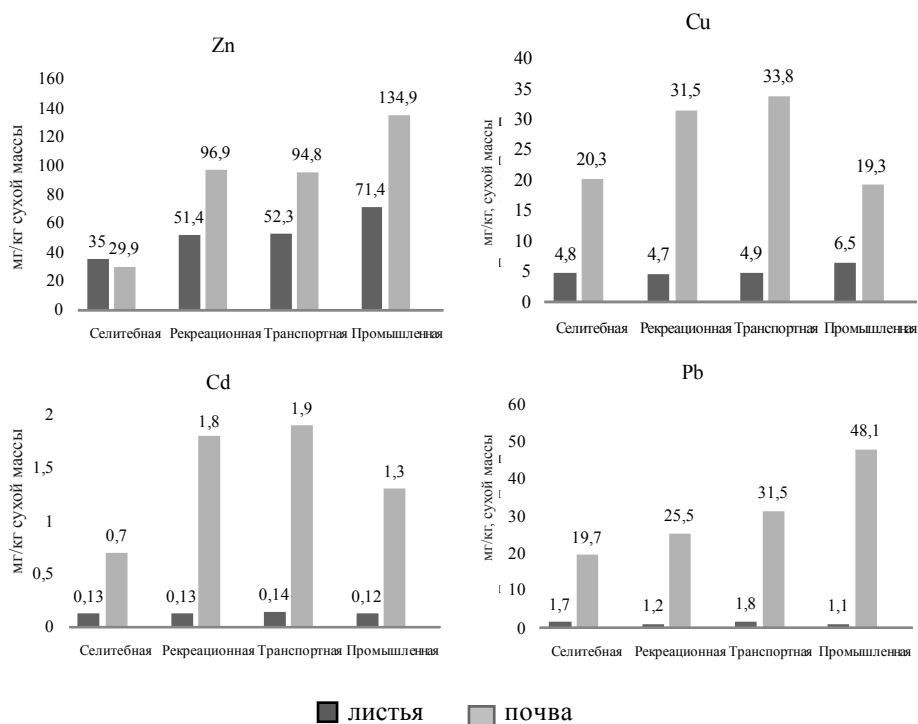


Рис. 2. Зависимость содержания ТМ, зольности листьев и концентрации ТМ в почве от функциональной зоны города

Заключение

Таким образом, листья древесных и кустарниковых растений г. Темиртау хорошо накапливают ТМ, что говорит об интенсивности техногенной нагрузки урбоэкосистем данными поллютантами, а также их биологической доступности. В результате изучения биондикационного потенциала листьев древесных и кустарниковых растений были установлены виды, которые можно использовать в биондикации городской среды по отношению к ТМ, так как накопление металлов адекватно той техногенной нагрузке, которой они подвергаются.

Значительная аккумуляция ТМ листьями древесных растений, а также высокие значения КБП и зольности позволяют сделать вывод, что наиболее информативными видами для индикации загрязнения атмосферы г. Темиртау ТМ являются листья *B. pendula* Roth., *A. negundo* L., *E. argentea* Pursch., а также листья деревьев рода *Populus*. Таким образом, данные растения, устойчивые к антропогенным нагрузкам, можно рекомендовать к использованию в озеленении города в качестве фильтров атмосферного воздуха.

Литература

1. О состоянии охраны атмосферного воздуха в Республике Казахстан за 2010 г. : стат. сб. Астана, 2011. Т. 1–3.
2. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев : Наукова думка, 1978. 246 с.
3. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М. : Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
4. Плохинский Н.А. Биометрия. М. : Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
5. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М. : Астрель, 2000. 715 с.
6. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М. : Мысль, 1983. 272 с.
7. Совместный приказ Министерства здравоохранения РК от 30.01.04 № 99 и Министерства охраны окружающей среды РК от 27.01.04 № 21-п «Об утверждении нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ, вредных микроорганизмов и других биологических веществ, загрязняющих почву».
8. Kloke A. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // Mitteilungen VDLUFA. 1980. H. 2. S. 32–38.
9. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. : АН СССР, 1957. 235 с.
10. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб. : Наука, 2005. 339 с.
11. Алексеев В.А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка. М. : Логос, 2006. 520 с.

Поступила в редакцию 26.12.2011 г.

Azhar Zh.Yessenzholova, Michael S. Panin

*Semipalatinsk State Pedagogical Institute, Semey, Kazakhstan***BIOINDICATION POTENTIAL OF TREES AND SHRUBS LEAVES
OF TEMIRTAU CITY**

In many regions of Kazakhstan there is an issue of air pollution by heavy metals which are major components of emissions from enterprises. Heavy metals are intensively released in the atmosphere of Temirtau city by a man-made technogenic stream and are related to the activities of steel, chemical, construction and thermal power industries that dominate in the city as well as a well-developed transportation network. Heavy metals are among the most hazardous pollutants because of their physiological and biochemical features. Therefore, a control over the content of heavy metals in the biosphere is an integral part of a set of environmental measures. One promising approach to biological characteristics of air pollution is to assess the state of wood plants according to their degree of resistance to industrial emissions.

*In this paper, the content of heavy metals in the leaves of trees and shrubs of Temirtau city under different anthropogenic load was studied. Identified fluctuations of heavy metals in the leaves of trees and shrubs are due to the combined influence of internal (genetic) and external (environmental) factors. The content of heavy metals in the leaves of trees and shrubs of city Temirtau at different anthropogenic load varies. Plants growing in industrial and transport zones accumulate more heavy metals than in residential and recreational areas, and this coincided with soil contamination. The concentration of heavy metals in the leaves of trees and shrubs of Temirtau exceeds their clark in terrestrial vegetation, marking the species specificity. The highest average concentration of zinc is typical of *Betula pendula* Roth., *Populus alba* L., copper – *Crataegus oxyacantha* L., *Populus alba* L., cadmium – *Populus nigra* L., *Populus alba* L. and lead – *Eleagnus angustifolia* L., *Syringa vulgaris* L. leaves.*

*Thus, the leaves of trees and shrubs of Temirtau city accumulate heavy metal very well, which shows the intensity of development pressure on urboecosystems by these contaminants as well as their bioavailability. On the basis of a significant heavy metals accumulation by wood plants leaves as well as the values of PMA and ash content, the most suitable species for the informative display of heavy metals air pollution in Temirtau are leaves of *B. pendula* Roth., *A. negundo* L., *E. angustifolia* L., and leaves of *Populus* type trees. Being cumulative bio-indications, thus, resistant to anthropogenic stress, they can be recommended for use in the landscaping of the city as air filters.*

Key words: bioindication; leaves; heavy metals; city zone.

Received December 26, 2011