
ECOLOGICAL PROBLEMS OF BIOINDICATION



N. I. Glibovytska

V. I. Parpan

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 504.054:581.52

*Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, Ukraine,
e-mail: nataly.glibovytska@gmail.com*

SMALL-LEAVED LINDEN (*TILIA CORDATA* L.) AS BIOINDICATOR OF THE CONDITION OF URBANIZED AREAS POLLUTION BY HEAVY METALS

Abstract. The growth of anthropo-technogenic impact on urbanized ecosystems is accompanied by man-made contamination of the environment. Among the most toxic and widespread pollutants of the biosphere an important place belongs to heavy metals. Soil is the main storage medium and a source of heavy metals entering the plants. Accumulation of pollutants leads to dechlorination and necrotic leaves lesions, significant disturbances of mineral metabolism and water treatment, inhibition of photosynthetic and growth processes, which causes a decrease in plant productivity.

The presented research reveals the perspectives of small-leaved linden as a bioindicator of the condition of urbanized areas pollution by heavy metals. The regularities of heavy metals distribution in soils of different-functional ecotypes of Ivano-Frankivsk urbanized ecosystem and the pollutants accumulation intensity by small-leaved linden leaves were investigated.

In the studied area soils has been an increase in the content of mobile forms of Pb, Cu, Zn, Ni, Cd compared to the background area. Exceeding the maximum permissible concentrations for soil in urbanized ecosystem was not recorded except for Pb in industrial and roadside ecotypes.

The peculiarities of the soil contamination by pollutants within the investigated area are determined by the nature and intensity of the anthropo-technogenic impact. The "metallic pressure" on soils increases in the next different-functional landscape city zones: the area of the integrated landscaping → the area of the house-building complex → the area of industrial complexes → the area of transport routes.

The heavy metals content in the small-leaved linden leaves in most local ecotypes of the urbanized ecosystem is significantly higher than the background values. The highest concentrations of Pb and Zn are installed in the area of transport routes, Cd and Ni – in the area of industrial complexes, Cu – at a roadside and industrial ecotypes. These results suggest the selective absorption of pollutants by the small-leaved linden leaf plates, which increases in the number: Zn < Ni < Cu < Cd < Pb. The transition rate of heavy metals in the "soil – small-leaved linden leaves" in terms of the city increases in number : Pb < Cd < Zn < Ni < Cu.

A close correlation relationships between the level of heavy metal environmental pollution and morphological changes of the types leaf plates were established. According to the growth gradient of the urbotechnogenic loading in the urbanized ecosystem takes place the significant decrease of the biomass, leaves linear parameters of the small-leaved linden and increase of their necrotic damage degree.

© N. I. Glibovytska, V. I. Parpan, 2013

The most significant decrease of the types leaf plates is found in the area of transport routes and the area of industrial complexes – by 43 and 41 % compared with the background rate. The length and width of the small-leaved linden leaves within different-functional landscape areas of the city are lower relative to control by an average of 20 %. The leaves weight in small-leaved linden populations is statistically significantly reduced from 1.5 times in the area of integrated landscaping to 2.2 times in the area of transport routes in comparison with the background territory.

Comparative analysis of morphometric parameters of the species leaves showed the varying of their resistance to environmental pollution by heavy metals, which decreases in the series: leaf length → leaf width → leaf area → leaf biomass.

Morphometric parameters of the small-leaved linden leaves are in close negative correlation dependence ($r \geq -0,7$) with a coefficient of the total soil contamination. An exception is the parameter that characterizes the leaf plate's necrotic damage degree. Coefficient of linear correlation in this case is 0.88, indicating the close positive relationship.

Given the information content of morphometric parameters of the small-leaved linden leaves and sensitivity of the type to environmental contamination by heavy metals, it is appropriate to use it as a test object in monitoring studies to assess the ecological condition of urbanized and man-transformed environment.

Keywords: *small-leaved linden (Tilia cordata L.), morphometric parameters, heavy metals, urban environment, bioindication.*

УДК 504.054:581.52

Н. И. Глибовицкая

В. И. Парпан

д-р биол. наук, проф.

Прикарпатский национальный университет

им. В. Стефаника, г. Ивано-Франковск, Украина,

e-mail: nataly.glibovytska@gmail.com

ЛИПА СЕРДЦЕЛИСТНАЯ (TILIA CORDATA L.) КАК БИОИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Исследованы закономерности распространения тяжелых металлов в почвах разнофункциональных экотопов урбоекосистемы и интенсивность аккумуляции поллютантов листьями липы сердцелистной (*Tilia cordata L.*). Установлены тесные корреляционные взаимосвязи между уровнем загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и морфологическими изменениями листовой пластинки вида. Предложено использование липы сердцелистной в качестве биоиндикатора экологического состояния урбанизированных территорий.

Ключевые слова: *Tilia cordata L., морфометрические параметры, тяжелые металлы, урбанизированная среда, биоиндикация.*

УДК 504.054:581.52

Н. І. Глібовицька

В. І. Парпан

д-р біол. наук, проф.

Прикарпатський національний університет

ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна,

e-mail: nataly.glibovytska@gmail.com

ЛИПА СЕРДЦЕЛИСТА (TILIA CORDATA L.) ЯК БІОІНДИКАТОР СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Досліджено закономірності поширення важких металів у ґрунтах різнофункціональних екотопів урбоекосистеми та інтенсивність акумуляції поллютантів листками липи серцелистої (*Tilia cordata L.*). Встановлено тісні кореляційні взаємозв'язки між рівнем забруднення довкілля важкими металами та морфологічними змінами листової пластинки виду.

Запропоновано використання липи серцелистої в якості біоіндикатора екологічного стану урбанізованих територій.

Ключові слова: *Tilia cordata L.*, морфометричні параметри, важкі метали, урбанізоване середовище, біоіндикація.

ВСТУП

Зростання антропогенного впливу на урбоекосистеми супроводжується техногенною контамінацією навколишнього середовища (Парпан, 2010). Серед поллютантів, які відносяться до числа найбільш токсичних і широко розповсюджених забруднювачів біосфери, чільне місце належить важким металам (Водяницький, 2005; Казнина, 2009; Денчиля-Сакаль, 2012). Значне надходження у довкілля останніх обумовлено головним чином газопиловими викидами промислових підприємств та автотранспорту (Алексеев, 1987; Ильинский, 2003; Лянгузова, 2005; Снакин, 1998; Merrington, 1994). При цьому ґрунт є головним депонуючим середовищем і джерелом потрапляння важких металів у рослини (Волощинська, 2008; Обухов, 1989).

Акумуляція поллютантів призводить до появи некротичних і дехромаційних ушкоджень листків, істотних порушень мінерального обміну та водного режиму, пригнічення фотосинтетичних та ростових процесів, що викликає зниження продуктивності рослин (Ачасова, 2003; Baker, 1981; Burzynski, 2004; Poschenrieder, 1999; Van Assche, 1990). Адаптація рослин до токсичного впливу важких металів можлива лише у вузькому діапазоні концентрацій і в умовах оточуючого середовища, коли природні фактори не створюють додаткових стресових ситуацій (Денчиля-Сакаль, 2012).

Одним із способів контролю за екологічною ситуацією на урбанізованих територіях є оцінка стану видів рослин за змінами морфологічних показників під впливом антропогенного забруднення, які корелюють зі змінами концентрацій поллютантів у довкіллі (Злобин, 1985; Фролова, 1998; Смоленський, 2003).

Метою даної роботи була індикація стану забруднення урбосередовища важкими металами за допомогою виду липа серцелиста (*Tilia cordata L.*).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в урбоекосистемі Івано-Франківська, яка розташована у розширеній частині басейну нижньої течії ріки Бистриця на межі Західного Лісостепу і Прикарпаття.

За принципом ландшафтно-функціонального зонування території (Парпан, 2010), для досліджуваної урбоекосистеми розроблено моніторингову мережу, згідно з якою виділено зону транспортних шляхів, зону житлової забудови, зону промислових комплексів та зону комплексного озеленення. Як фонову – обрано умовно екологічно чисту територію – урочище Дем'янів Лаз, розташовану за межами міста.

Об'єкт дослідження – екологічний стан ландшафтно-функціональних екоотопів урбоекосистеми Івано-Франківська; матеріал – зразки ґрунту та листки *Tilia cordata L.* зелених насаджень міста.

Проби ґрунту відбирали методом змішаного зразка з верхнього 5-сантиметрового горизонту за загальноприйнятою методикою (Методические рекомендации..., 1981).

Відбір зразків рослинного матеріалу здійснювали з гілок одного порядку галушення нижньої частини крони у період завершення повного розвитку асиміляційної системи (серпень-вересень) (Парпан, 2009).

Визначення площі листкових пластинок рослин здійснювали ваговим методом (Руденко, 2008). Ступінь некротичних ушкоджень листків *Tilia cordata L.* здійснювали за 5-ти бальною бонітуральною шкалою (Schubert, 1977).

Визначення вмісту важких металів (Pb, Cu, Zn, Ni, Cd) у рослинних пробах та їх рухомих форм у ґрунтах проводили методом атомно-абсорбційної спектроскопометрії на приладі С-115-М-1 (Методические указания..., 1992).

Математичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом. Достовірність відмінності одержаних експериментальних даних із контрольними оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента. Нульову гіпотезу відкидали при $P \leq 0,05$. Всі розрахунки проводили за допомогою редактора MS Excel 2007 та програмного пакета Statistica 6,0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У ґрунтах Івано-Франківської урбоекосистеми має місце зростання концентрації рухомих форм важких металів порівняно з фоновою територією (табл. 1).

Закономірності поширення забруднення поллютантами едафотопів у межах міста визначаються характером та інтенсивністю антропогенного впливу. Вміст елементів у ґрунтах урбоекосистеми не перевищує гранично-допустимих концентрацій за винятком плюмбуму, вміст якого у зоні промислових комплексів та зоні транспортних шляхів становить відповідно 1,12 ГДК і 1,38 ГДК. У вище зазначених екотопах встановлені піки максимальних концентрацій для усіх досліджених поллютантів. Мінімальний вміст важких металів у ґрунті характерний для зони комплексного озеленення.

Таблиця 1

Концентрація рухомих форм важких металів у ґрунтах різнофункціональних зон Івано-Франківської урбоекосистеми

Функціональна зона	Значення показників (M±m), мг/кг				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Фонова територія	0,81	0,16	0,24	2,28	0,48
Зона промислових комплексів	2,21±0,67	0,30±0,09	0,54±0,13	3,69±0,95	0,67±0,14
Зона житлової забудови	1,35±0,47	0,21±0,03	0,37±0,04	2,74±0,55	0,60±0,07
Зона транспортних шляхів	2,76±1,79	0,31±0,12	0,78±0,37	5,01±2,21	0,81±0,22
Зона комплексного озеленення	1,33±0,64	0,18±0,04	0,31±0,08	2,70±0,86	0,41±0,18
ГДК	2,00	0,70	3,00	23,00	4,00

Відповідно до значень інтегрального показника забруднення (K_z), «металічний пресинг» на едафотопи зростає в наступному ряді ландшафтно-функціональних зон: зона комплексного озеленення ($K_z = 1,29$) → зона житлової забудови ($K_z = 1,37$) → зона промислових комплексів ($K_z = 2,04$) → зона транспортних шляхів міста ($K_z = 2,50$).

Вміст важких металів у листках *Tilia cordata* L. в більшості локальних екотопів урбоекосистеми достовірно відрізняється від фонових значень (табл. 2).

Найвищі концентрації плюмбуму та цинку встановлені в зоні транспортних шляхів (відповідно у 1,82 та 1,37 рази вищі за контрольні показники), кадмію і

нікелю – у зоні промислових комплексів (перевищують фонові значення в 1,68 та 1,45 раз відповідно), купруму – в придорожному і промислового екотопах (в 1,47 раз вище щодо контролю).

Загалом інтенсивність поглинання забруднювачів листками *Tilia cordata* L. в межах розглянутої урбоекосистеми характеризує такий ряд відносної біоаккумуляції визначуваних важких металів: Zn < Ni < Cu < Cd < Pb. Коефіцієнт переходу важких металів у системі «грунт – листки *Tilia cordata* L.» в умовах міста зростає в ряді: Pb_{2,69} < Cd_{5,17} < Zn_{6,22} < Ni_{7,29} < Cu_{9,61}.

Таблиця 2

Середній вміст важких металів у листках *Tilia cordata* L. в межах різнофункціональних екотопів м. Івано-Франківська

Функціональна зона	Значення показників (M±m), мг/кг				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Фонова територія	2,69	0,78	3,15	16,43	3,35
Зона промислових комплексів	4,75±0,2*	1,31±0,1*	4,62±0,4*	21,50±1,4*	4,85±0,6
Зона житлової забудови	4,60±0,3*	1,25±0,1*	4,21±0,3*	20,25±1,2*	4,02±0,3
Зона транспортних шляхів	4,89±0,3*	1,28±0,1*	4,64±0,3*	22,47±0,1*	4,68±0,5*
Зона комплексного озеленення	4,58±0,4*	1,12±0,1*	3,89±0,6	19,34±2,1	3,87±0,4

Примітка. Тут і в табл. 3: * – відмінності з контролем достовірні при P ≤ 0,05.

Згідно з результатами морфометричного аналізу, в умовах усіх досліджених зон міста спостерігається достовірне зменшення площі, біомаси та лінійних параметрів листків липи серцелистої щодо контролю (табл. 3).

Таблиця 3

Морфометричні параметри листків *T. cordata* L. в межах зон дослідження урбоекосистеми Івано-Франківська

Зона дослідження	Ступінь некрозу	Площа листка, см ²	Довжина листка, см	Ширина листка, см	Біомаса листка, г
Фонова територія	1,0	43,3±2,2	8,2±0,1	7,7±0,2	0,286
Зона промислових комплексів	3,0	25,6±2,2*	6,2±0,3*	6,1±0,3*	0,156±0,02*
Зона житлової забудови	2,5	26,3±1,4*	6,5±0,2*	6,0±0,1*	0,168±0,01*
Зона транспортних шляхів	3,0	24,7±1,3*	6,3±0,3*	5,7±0,1*	0,132±0,06*
Зона комплексного озеленення	2,0	32,64±2,0*	7,4±0,1*	6,5±0,4	0,186±0,23*

Найістотніше зменшення площі листової пластинки виду виявлено у зоні транспортних шляхів та зоні промислових комплексів – відповідно на 43 і 41 %

порівняно з фоновим показником. Значення довжини і ширини листка у межах різнофункціональних ландшафтних зон урбоєкосистеми є нижчими відносно контролю в середньому на 20 %. Маса листкової пластинки в популяціях липи серцелистої статистично достовірно знижується від 1,5 рази у зоні комплексного озеленення до 2,2 раз у зоні транспортних шляхів міста щодо цього показника на фоновій території.

Порівняльний аналіз морфометричних параметрів листків *Tilia cordata* L. виявив неоднакову їх стійкість до забруднення довкілля важкими металами, яка знижується в ряді: довжина листка → ширина листка → площа листка → біомаса листка.

Зменшення розмірів, площі та біомаси листків *Tilia cordata* L. зелених насаджень міста супроводжується зростанням ступеня їх некротичного ураження, що посилюється в послідовному ряді досліджених локальних екотопів урбоєкосистеми: зона комплексного озеленення → зона житлової забудови → зона промислових комплексів = зона транспортних шляхів.

Встановлено наявність достовірних кореляційних залежностей між вмістом важких металів у листках липи серцелистої та усіма аналізованими морфометричними параметрами виду (табл. 4).

Таблиця 4

Кореляційні залежності між вмістом важких металів у листках *Tilia cordata* L. та їх морфометричними параметрами в умовах Івано-Франківської урбоєкосистеми

Досліджувані параметри	Коефіцієнт кореляції, r				
	Ступінь некротизації	Площа листкової пластинки	Довжина листкової пластинки	Ширина листкової пластинки	Біомаса листкової пластинки
Pb	0,92	-0,95	-0,88	-0,96	-0,98
Cd	0,98	-0,99	-0,97	-0,97	-0,98
Cu	1,00	-0,97	-0,98	-0,95	-0,97
Zn	0,99	-0,96	-0,95	-0,96	-0,98
Ni	0,95	-0,88	-0,92	-0,83	-0,87

Морфометричні параметри листків *Tilia cordata* L. знаходяться в тісній негативній кореляційній залежності ($r \geq -0,7$) з коефіцієнтом сумарного забруднення ґрунту. Виняток становить показник, що характеризує ступінь некротизації листкової пластинки. Коефіцієнт лінійної кореляції в даному випадку становить 0,88, що свідчить про наявність тісного позитивного зв'язку.

Враховуючи інформативність морфометричних параметрів листків *Tilia cordata* L. та чутливість виду до забруднення довкілля важкими металами, перспективою є його використання як біоіндикатора при здійсненні оцінки екологічного стану урбанізованого і техногенно-трансформованого середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Алексеев Ю. В.** Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Л. : Агрпромиздат, 1987. – 142 с.
Alexeev, Y. V., 1987, "Heavy metals in soils and plants", Leningrad, Agropromizdat, 142 p.
- Ачасова А.** Просторова неоднорідність вмісту важких металів у ґрунті / А. Ачасова // Вісник аграрної науки. – 2003. – № 3. – С. 77-78.
Achasova, A., 2003, "Spatial heterogeneity of heavy metals in soil", Visnyk of Agricultural Science, no. 3, pp.77-78.
- Водяницкий Ю. Н.** Изучение тяжелых металлов в почвах / Ю. Н. Водяницкий. – М. :

ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2005. – 110 с.

Vodyanitsky, Y. N., 2005, "The study of heavy metals in soils", Moscow, SNU Soil Institute of V. V. Dokuchaev of RAAS, 110 p.

Волощинська С. С. Біоіндикація стану забруднення довкілля важкими металами (на прикладі автомагістралі «Київ – Варшава») / С. С. Волощинська // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2008. – Т. 2, вип. 16. – С. 24-28.

Voloschynska, S. S., 2008, "Bioindication of the heavy metals environmental pollution (on the example of highway «Kyiv-Warsaw»)", Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology, 16, no. 2, pp. 24–28.

Денчиля-Сакаль Г. М. Реакції рослин конюшини на забруднення солями цинку / Г. М. Денчиля-Сакаль, В. І. Ніколайчук, А. В. Колесник, М. М. Вакерич // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2012. – Т. 2, вип. 20. – С. 18-24.

Denchilja-Sakal, H. M., Nikolaychuk, V. I., 2012, "Reactions of clover plants to soil contamination with zinc salts", Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology, 20, no. 2, pp. 18–24.

Злобин Ю. А. О некоторых параметрах оценки реакции ценопопуляций на влияние антропогенных факторов / Ю. А. Злобин // Антропогенные процессы в растительности. – Уфа, 1985. – С. 89-101.

Zlobin, Y. A., 1985, "Some parameters of assessing the response of populations to the influence of human factors", Human-induced processes in the vegetation, Ufa, pp. 89–101.

Ильинский А. В. Биологическая очистка почв, загрязненных тяжелыми металлами / А. В. Ильинский // Агрехим. вестн. – 2003. – С. 30-32.

Il'inskii, A. V., 2003, "Biological treatment of soils contaminated by heavy metals", Agrochemical bulletin, pp. 30–32.

Казнина Н. М. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense* L. / Н. М. Казнина, А. Ф. Титов, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батова // Труды Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск, 2009. – № 3. – С. 50-55.

Kaznina, N. M., Titov, A. F., 2009, "Effect of industrial heavy metal pollution of soil on the morphological characteristics of *Phleum pratense* L.", Proceedings of the Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, no. 3, pp. 50–55.

Лянгузова И. В. Промышленное загрязнение окружающей среды (краткий обзор проблемы) / И. В. Лянгузова // Проблемы

экологии растительных сообществ. СПб. : ООО «ВВМ», 2005. – С. 23-27.

Lyanguzova, I. V., 2005, "Industrial pollution of the environment (a brief overview of the problem)", Problems of ecology of plant communities, St. Petersburg, LLC "VVM", pp. 23–27.

Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М. : Гидрометеоиздат, 1981. – 110 с.

Guidelines for the conduct of field and laboratory studies of soils and plants under the control of environmental pollution by metals, Moscow, Gidrometeoizdat, 1981, 110 p.

Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продуктивной растениеводства. – М. : ЦИНАО, 1992. – 53 с.

Guidelines for the determination of heavy metals in farmland soils and crop production, Moscow, CINAS, 1992, 53 p.

Обухов А. И. Биохимия тяжелых элементов в городской среде / А. И. Обухов, О. М. Лепнева // Почвоведение. – 1989. – № 5. – С. 64-75.

Obukhov, A. I., Lepneva, O. M., 1989, "Biochemistry of heavy elements in the urban environment", Eurasian Soil Science, no. 5, pp. 64–75.

Парпан В. І. Методологічні аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно-змінених територій / В. І. Парпан, М. М. Миленька // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2010. – Т. 2, вип. 18. – С. 61-68.

Parpan, V. I., Mylenka, M. M., 2010, "Methodological aspects of the evaluation of ecological conditions of urbanized and anthropologically altered territories", Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology, 18, no. 2, pp. 61–68.

Парпан В. І. Морфологічні особливості *Populus pyramidalis* Roz. в умовах урботехногенного забруднення середовища / В. І. Парпан, М. М. Миленька // Екологія та ноосферологія. – 2009. – Т. 20, № 3-4. – С. 84-90.

Parpan, V. I., Mylenka, M. M., 2009, "Morphophysiological characteristics of *Populus pyramidalis* Roz. under the conditions of urbanization and anthropogenic impact on the environment", Ecology and Noospherology, 20, no. 3–4, pp. 84–90.

Руденко С. С. Загальна екологія. Практичний курс: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. Ч. 2. Природні наземні екосистеми // С. С. Руденко, С. С. Костишин, Т. В. Морозова. – Чернівці, 2008. – 320 с.

Rudenko, S. S., Kostyshyn, S. S., 2008, "General Ecology. Practical course: a textbook for university students. Part 2. Natural terrestrial ecosystems", Chernivtsi, 320 p.

Смоленський І. Бріо- та ліхеноіндикаційний підхід до нормування вмісту важких металів у атмосферному повітрі / І. Смоленський, В. Клід // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. – 2003. – Вип. 34. – С. 230-234.

Smolensky, I., Klid, V., 2003, "Brio- and lichen-indicational approach to the rate setting of heavy metals amount in the air", *Visnyk of Lviv University, Biology Series*, 34, pp. 230–234.

Снакин В. В. Свинец в биосфере / В. В. Снакин // Вестник Российской академии наук. – 1998. – Т. 68, № 3. – С. 214-224.

Snakin, V. V., 1998, "Lead in the biosphere", *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 68, no. 3, pp. 214–224.

Фролова Н. П. Семенное воспроизводство *Taraxacum officinale* Wigg. в условиях техногенных загрязнений / Н. П. Фролова // Репродуктивная биология. Тр. КомиНЦ УрО, 1998. – С. 41-50.

Frolova, N. P., 1998, "Seed reproduction of *Taraxacum officinale* Wigg. in terms of man-made pollution", *Reproductive Biology, Works*

of the Komi Science Centre, Ural Branch, pp. 41–50.

Baker, A. J. M., 1981, "Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals", *J. Plant Nutr.*, 3, pp. 643–654.

Burzynski, M., Klobus, G., 2004, "Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd, and Pb stress", *Photosynthetica*, 42, no. 4, pp. 505–510.

Merrington G., Alloway, B. J., 1994, "The flux of Cd, Cu, Pb and Zn in mining polluted soils", *Water Air Soil Pollut.*, 73, pp. 333–344.

Poschenrieder, C., Barcelo, J., 1999, "Water relation in heavy metals stressed plants", *Heavy Metal Stress in Plants. From Molecules to Ecosystems*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, pp. 207–231.

Schubert, R., 1977, "Ausgewählte pflanzliche Bioindikatoren zur Erfassung ökologischer Veränderungen in terrestrischen Ökosystemen durch antropogene Beeinflussung unter besonderer Berücksichtigung industrieller Ballungsgebiete", *Hercynia N. F.*, no. 14, ss. 399–412.

Van Assche, F., Glijsters, H., 1990, "Effects of metals on enzyme activity in plants", *Plant Cell Environ*, 13, no. 1, pp. 195–206.

Стаття надійшла в редакцію: 03.09.2013

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. А. В. Івашов