

## Bioaccumulation of heavy metals by the urban trees around Cherkassy thermal power plant

N.M. Kornelyuk, O.M. Khomenko

Cherkassy State Technological University  
18006, Cherkasy, bul. Shevchenko, 460, Ukraine  
E-mail: [nkornelyuk@ukr.net](mailto:nkornelyuk@ukr.net), [homenko@uch.net](mailto:homenko@uch.net)  
Received: 12.02.2018 Accepted: 21.03.2018

Woody plants are able not only to absorb metals of anthropogenic origin, but also to deposit their significant quantities in wood, leaves, and thereby temporarily remove them from the cycle of substances of urban ecosystems. The paper compares the content of heavy metals – Cu, Zn, Pb, and Cd in the leaves of the bioindicator species *Populus pyramidalis* Roz and their mobile forms in soils collected from 6 test locations from various functional zones of the Southern industrial district of the City of the Cherkassy. Soil-geochemical associations of Cu, Zn, Pb and Cd content in the investigated locations indicate that the main source of Zn, Cu is the emissions of of the Cherkassy thermal power plant, and Pb, Cd – of urban transport. According to the total accumulation in the leaves of *P. pyramidalis*. The heavy metals are located as follows: Pb> Cd> Cu> Zn. It was established that the content of mobile forms of Cu, Zn, Pb, and Cd in the soils of the experimental sites was several times higher than background values, and the coefficient of biological accumulation in the leaves fluctuated in insignificant limits. According to the results of indicators of the accumulation coefficient, the leaves of *P. pyramidalis* have low bioavailability in Cu and Zn, and the availability of Pb and Cd approaches the average. The obtained data can be used for the creation and reconstruction of green plantings of urban transport highways, sanitary protection zones of industrial sites of enterprises, recreational areas, squares.

**Key words:** heavy metals; dendroindication; *Populus pyramidalis* Roz.; technogenic pollution; soil; bioavailability

## Особливості біоаккумуляції важких металів деревною рослинністю в зоні локальної дії Черкаської теплоелектроцентралі (на прикладі м. Черкаси)

Н.М. Корнелюк, О.М. Хоменко

Черкаський державний технологічний університет  
бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна  
E-mail: [nkornelyuk@ukr.net](mailto:nkornelyuk@ukr.net), [homenko@uch.net](mailto:homenko@uch.net)

У роботі представлена порівняльна оцінка умісту важких металів – Cu, Zn, Pb і Cd у листках біоіндикаторного виду *Populus pyramidalis* Roz та їхніх рухомих форм у ґрунтах, зібраних з шести тестових локалітетів з різних функціональних зон Південного району м. Черкас. Ґрунтово-геохімічні асоціації вмісту Cu, Zn, Pb та Cd у досліджених локалітетах свідчать, що основним джерелом надходження Zn та Cu є викиди ДП «Черкаська ТЕЦ», а Pb та Cd – міського автотранспорту. За загальним вмістом накопичення в листках *P. pyramidalis* досліджені важкі метали розташувались наступним чином: Pb>Cd>Cu>Zn. З'ясовано, що вміст рухомих форм Cu, Zn, Pb та Cd в ґрунтах дослідних ділянок у декілька разів перевищував фонові показники, а коефіцієнт біологічного накопичення в листках коливався в незначних межах. За результатами показників коефіцієнту накопичення листки *P. pyramidalis* мають низьку біологічну доступність щодо Cu та Zn, а доступність Pb та Cd наближається до середніх показників.

**Ключові слова:** важкі метали; дендроіндикація; *Populus pyramidalis* Roz.; техногенне забруднення; ґрунти; біологічна доступність

## Вступ

У міських екосистемах рослини постійно піддаються впливу високих рівнів техногенного забруднення повітря і ґрунту, що може спричинити хронічні пошкодження на анатомічному, морфологічному та фізіологічному рівнях, тим самим викликати схильність до інших типів біотичного ураження та накопичення важких металів (Baltrenas, 2011; Bräker, 2002). Проведенні сучасні дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених свідчать, що головним джерелом впливу на рослини є підприємства енергетичної, хімічної, металургійної промисловості та міський автотранспорт (Didukh, 2012; Kardel, 2011; Verma 2006; Chauhan, 2010; Bioindykatsiya, 2016).

Сформовані за останнє десятиріччя промислові агломерації при показниках низького рівня модернізації виробничого обладнання, збільшення частки вугілля енергетичної складової є ключовою причиною погіршення екологічного стану ґрунтово-рослинного комплексу міських екосистем.

Слід відзначити, що серед більшості деревних порід *Populus pyramidalis* Roz. є видом, який широко розповсюджений в озелененні міст України. Експериментальними дослідженнями доведено високу газо-солестійкість тополі пірамідальної, здатність витримувати низькі температури, що свідчить про достатньо високу стійкість до умов зовнішнього середовища та екологічну пластичність даного виду. Фітомаса тополі здатна біоакумулювати максимальний спектр важких металів (далі ВМ), що утворюється внаслідок викидів підприємств та автотранспорту. Тополя має достатньо потужні осаджуючі та середовищеочисні функції. Нині її використовують у якості тест-об'єктів при дендроіндикації техногенного навантаження на міське середовище (Kulagin, 2003; Butkus, 2007).

Принцип екологічного районування є основним критерієм відбору асортименту видів щодо утворення ефективно функціонуючої системи зелених насаджень.

Отже, питання формування «фіторельєфу» міста з можливістю перерозподілу димових газів від стаціонарних джерел та викидів транспортних засобів за допомогою утворення «зелених коридорів» з використанням лінійних насаджень дерев та формуванням «зелених масивів» вздовж схилів Дніпра є надзвичайно актуальним.

**Мета дослідження:** оцінити забруднення ВМ ґрунтів та листків індикаторного виду *Populus pyramidalis* в урбосередовищі м. Черкас

**Завдання дослідження.** На основі екологічного моніторингу ґрунтів та тест-параметрів рослини індикатора *P. pyramidalis* проаналізувати особливості міграції, накопичення ВМ в системі ґрунт-рослина при техногенному пресингу дочірнього підприємства «Черкаська теплоелектроцентрально» (далі ДА «Черкаська ТЕЦ»).

## Матеріали та методи досліджень

Під час дослідження стану довкілля території м. Черкас застосували еколого-геохімічний підхід. На початковому етапі вивчення були проаналізовані головні джерела забруднення та особливості ландшафтно-функціональних зон їхнього впливу. Для виявлення специфіки зон дії основних джерел аеротехногенного забруднення, а також природних, антропогенних умов формування ореолів розсіювання були здійснені польові і лабораторні дослідження вмісту ВМ у ґрунті та фітомасі форофітів родини *PopulusL.*

Методом атомно-абсорбційної спектроскопії (СМ-115, М-1, РФ, 1989 р.) визначали уміст ВМ – Cu, Zn, Pb і Cd у листках біоіндикаторного виду та їхніх рухомих форм у ґрунтах, зібраних з 6 тестових локалітетів з різним ступенем техногенного навантаження у межах двох адміністративних районів м. Черкас. Для аналізу відбирали середню пробу із 30 листків та зразки ґрунту із зони прикореневої системи. За принципом ландшафтно-функціонального зонування території серед урболандшафтів м. Черкас в Південному районі виділено такі зони: транспортних шляхів, житлової забудови, санітарно-захисні та рекреаційну (Hutsuliak, 2002). Як фоновий локалітет було обрано умовно чисту територію – вул. Набережну (мікрорайон Дахнівка). Деревні насадження розташовані вздовж автомагістралі та тротуару (картосхема відбору проб наведено на рис.1).



**Рисунок 1.** Картосхема відбору проб у локалітетах м. Черкаси (район Південний), 2016 р.:

1) вул. Набережна (фон); 2) санітарно-захисна зона ПАТ «Хімволокно» та ДП «Черкаська ТЕЦ»; 3) санітарно-захисна зона ПАТ «Азот»; 4) рекреаційна зона ППСМ Хіміків; 5) вул. Нечуя-Левицького; 6) зона транспортного шляху: автомагістраль проспект Хіміків

За фізико-хімічними властивостями ґрунту в умовах техногенного забруднення оцінювали за едафічними показниками: рН (водна витяжка), вміст води, гумусу, легкогідролізованого азоту,  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  (рухома форма). Кислотність визначали потенціометричним методом, вміст гумусу – методом І.В. Тюріна, легкогідролізованого азоту – за Корнфільдом,  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  – трилонометричним методом (Bulygina, 1999).

Коефіцієнт накопичення ( $K_n$ ) розраховували як відношення кількісного умісту елемента в листках тополі вуличних насаджень до його умісту фонові ділянки тест-об'єкту. Згідно А. І. Перельману, коефіцієнт біологічного поглинання (накопичення) більше 1 вказує на інтенсивне поглинання, а менше 1 – на середнє і слабке поглинання (Perelman, Kasimov, 1999).

## Результати та їх обговорення

Створені за останні 30–40 років лінійні вуличні насадження *P. pyramidalis* в місті Черкаси є одними з найпоширеніших елементів озеленення, які виконують важливі природоохоронні та фітомеліоративні функції. Місто Черкаси (площа 77,6 км<sup>2</sup> га, населення – 298 тис. чол., густина населення 3840 осіб на 1 км<sup>2</sup>) – розміщене в межах північно-східного схилу Українського кристалічного щита. Вздовж міста протікає територія головної водної артерії Дніпро, долина якого є субмеридіональним річково-долинним екокоридором Пан'європейського значення. Абсолютні позначки рельєфу становлять 95–110 м і збільшуються у західному напрямі (р-н Соснівки – близько 125 м).

Черкаси є важливим економічним центром України, з розвиненою хімічною промисловістю та автомобілебудуванням. Головними підприємствами міста є: ПАТ «Азот», «Черкаське хімволокно», машинобудівний завод «ТЕМП», ДП «Черкаський завод хімічних реактивів» та ін.

Серед низки ВМ пріоритетними забруднювачами вважаються  $\text{Hd}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{As}$  та  $\text{Zn}$ , що зумовлено високими темпами їхнього техногенного накопичення в урболандшафтах. У попередніх роботах було встановлено, що головними джерелами надходження ВМ у довкілля м Черкас є: ДП «Черкаська ТЕЦ» (на її частку припадає 75% від загальної кількості викидів ВМ, а за викидами  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cu}$  та  $\text{Zn}$  внесок ДП «Черкаська ТЕЦ» сягає 85%) та автотранспорт (Korneliuk, 2007; Korneliuk, 2007).

Збільшення частки вугільного палива з одночасним погіршенням його якості, використання застарілого неефективного обладнання і технологій збільшує ризик надходження полютантів аеротехногенним шляхом (Mysliuk, 2008). Причиною зростання обсягів викидів ВМв останні роки є збільшення частки вугілля у спожитому паливі на ДП «Черкаська ТЕЦ»у зв'язку із зростанням цін на природний газ (табл. 1).

**Таблиця 1.** Показники роботи ДП «Черкаської ТЕЦ» за 2010-2015рр.

Роки	Спалено палива				Вироблено електроенергії, млн. кВт-год	Відпуск теплоенергії, тис. Гкал
	всього, т.у.п.	вугілля, т	природного газу, тис.м <sup>3</sup>	мазуту, т		
2010	419035,1	418036,0	999,1	-	814,4	1069,7
2011	429137,7	428067,0	1070,7	-	848,6	1108,0
2012	467648,0	397570,0	70078,0	-	850,0	1143,5
2013	472425,0	406030,0	66395,0	-	861,3	1038,0
2014	447370,0	391147,0	56223,0	-	833,0	988,6
2015	490554,0	441383,0	49171,0	-	940,2	1080,7

В умовах надлишкового вмісту елементів техногенного походження в системі ґрунт-рослина, катастрофічного збіднення видового різноманіття та погіршення функціонального стану вуличних деревних насаджень важливого значення набуває екологічний стан ґрунтів у прикореневій зоні. Геохімічні дослідження ґрунтів урбосистеми міста свідчать, що під впливом антропогенного порушення і техногенного забруднення сформувались специфічні едафотопи, де фізико-хімічні властивості, хімічний склад ґрунтів трансформовані і ґрунтовий покрив, як важливий природний бар'єр на шляху фітотоксикантів, деградує втрачаючи свої функції щодо здатності до депонування, трансформації та детоксикації фітотоксичних сполук (Lustyshyn, 2010).

Необхідно зазначити, що для урбосистем м. Черкаси характерна особлива специфіка техногенного забруднення за складом ВМ, де основними носіями  $\text{Pb}^{2+}$  і  $\text{Cd}^{2+}$  є автотранспортні викиди (90,0% від загального техногенного забруднення) та викиди від стаціонарних джерел (ДП«Черкаська ТЕЦ»). Крім того  $\text{Cd}^{2+}$  забруднення підсилюється за рахунок спалювання сміття та відходів виробництва, що містять цей елемент (Veriņa, 1989). Фізико-хімічні показники стану ґрунтового покриву в умовах техногенного забруднення наведено в табл. 2.

Під час досліджень виявлено, що природний ґрунтовий покрив в зонах формування зелених насаджень відсутній і є в основному складним штучним ґрунтоподібним утворенням, яке сформувалось при механічному перемішуванні родючого шару ґрунту із залишками будівельного сміття. За таких умов антропогенний тиск та високе техногенне забруднення спричинило руйнування природного ґрунтового покриву із суттєвими змінами фізико-хімічних властивостей, хімічного складу та бар'єрних функцій щодо забезпечення існування та харчування ґрунтової біоти, трансформації та детоксикації техногенних сполук.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники ґрунтового покриву з локалітетів м. Черкас, 2016 р.

Територія дослідження: район Південний	Уміст вологи, %	pH (водна витажка)	Уміст гумусу, %	N (л/гідроліз) мг/100 г	Ca <sup>2+</sup> мг-екв/10 0г	Mg <sup>2+</sup> , мг-екв/100 г
Санітарно-захисна зона: ДП «Черкаська ТЕЦ»	4,27±0,41	6,74±0,21	2,0 ±0,86	4,71±1,05	4,37±0,1	0,43±0,06
Санітарно-захисна зона: ПАТ «Азот»	7,27±0,63	7,65±0,4	1,78±0,25	5,03±0,63	5,11±0,94	0,59±0,01
Район житлової забудови: вул. Нечуя Левицького	8,66±0,72	7,2±0,16	2,4±1,4	7,17±1,4	6,34±1,3	0,78±0,07
Рекреаційна зона: ППСПМ «Хіміків»	10,23±0,84	7,0±0,22	2,2±0,83	7,9±0,9	5,5±0,84	1,03±0,14
Зона транспортного шляху: автомагістраль проспект Хіміків	5,12±1,40	6,2±0,09	0,80±0,52	4,36±0,85	4,61±0,4	0,47±0,03
Рекреаційна зона «Дахнівка»: вул. Набережна (фон)	15,4±0,62	6,1±0,12	6,1±0,41	11,4±1,4	6,5±0,36	2,3±0,51

Відомо, що при зміні концентрації будь якого хімічного елемента в ґрунті обов'язково змінюється рівновага щодо концентрацій інших елементів (Myśliuk, Korneliuk 2009). У досліджених локалітетах спостерігається значне відхилення показників від їхніх оптимальних значень щодо умісту гумусу, легкогідролізованого азоту, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, умісту вологи в ґрунті при зміні pH ґрунтового розчину.

Для досліджених ґрунтів в зоні впливу ДП «Черкаська ТЕЦ» незалежно від місця розташування є низький вміст гумусу (0,8 – 2,4%). За нормативними показниками такі ґрунти характеризуються як малогумусні. Процеси гумусоутворення практично не відбуваються, що в свою чергу впливає на наявність легкодоступного азоту якого в зоні кореневої системи (4,3 – 7,9 мг/100г), що значно нижче оптимальних показників (оптимум більше за 20, 0 мг/100г). Дуже низька є вологість ґрунту в зоні кореневої системи (4,27 – 10,23%), що є наслідком їхньої техногенної модифікації, деградації та часткової втрати своїх середовищевих функцій (Vovk, 2007).

Дослідження зміни кислотно-основних властивостей із виділених локалітетів показало, що поверхневий шар (0 – 10 см) має реакцію від 6,2 до 7,6. Рівень pH > 6,7 у ґрунті вважається лужним. Наслідком вилуговування поверхневих шарів є зменшення міграційної здатності ВМ. При таких показниках кислотності ґрунтового розчину свинець практично нерухомий, мідь, цинк, кадмій малорухомі. Окрім того pH – реакція ґрунтового розчину є узагальнюючим екологічним фактором, який впливає на поживність ґрунту, ріст і розвиток рослин. Зміна на кислу чи лужну від оптимальної супроводжується пригніченням ростових процесів, при цьому таке пригнічення у лужному середовищі є більш інтенсивним. Кожний вид дерев має інтервал показників pH ґрунту, який оптимальний для його росту: для тополі пірамідальної 6,5 – 7,0 (Ivanov, 1970; Pasichnyi, 2002).

Для живлення рослин в умовах збіднення поживних речовин важливе значення набуває наявність у ґрунтовому розчині іонів Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup>, які є ключовими для росту і розвитку рослин. Вміст рухомої форми Ca<sup>2+</sup> у ґрунтах кореневої зони *P. pyramidalis* становив (4,3 – 6,3 мг-екв/100 г) і був нижчий ніж у ґрунтах фонові ділянки рекреаційної зони «Дахнівка». Відомо, що високий чи низький вміст Ca<sup>2+</sup> у ґрунтах спричиняє зміни їхніх хімічних і фізичних властивостей. При високій концентрації Ca<sup>2+</sup> ґрунт набуває лужних властивостей, тоді як при низькій переважає кисла реакція.

Концентрація Mg<sup>2+</sup> в ґрунтах значно менша ніж Ca<sup>2+</sup>. Особливо бідні на гумус і зольні речовини піщані, супіщані ґрунти, а також чорнозем вилуговуваний легкосуглинковий в об'єктному районі дослідження. У ґрунтах зони лінійних насаджень *P. pyramidalis* обраних локалітетів спостерігається зниження концентрації іонів Mg<sup>2+</sup> відносно фонові ділянки більш ніж у 3,5 рази. Характерно, що концентрація рухомої форми Mg<sup>2+</sup> у прикореневому шарі ґрунту корелює з високими дозами токсичного забруднення: чим вищий рівень техногенного забруднення, тим нижча концентрація іонів Mg<sup>2+</sup>.

Однак аерозолі і продукти трансформації димових газів ДП «Черкаська ТЕЦ» формують значні ореоли забруднення міста, що в свою чергу може сприяти підвищенню кислотності ґрунтового покриву, зміні фізико-хімічних властивостей, вилуговуванню з верхніх горизонтів обмінного Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup>, збільшенню частки міграційних форм ВМ.

Геохімічний ряд акумулювання ВМ ґрунтовым покривом різних за функціональним призначенням дослідних ділянок має якісно подібний вигляд (табл.3), кількісні відмінності є наслідком незадовільних технологічних циклів та потужності виробництва. На наш погляд суттєве значення відіграє інтенсивність транспортного навантаження при незадовільному транспортно-експлуатаційному стані автошляхів та значному зношенні автотранспортних засобів.

**Таблиця 3.** Ґрунтово-геохімічні асоціації вмісту Cu, Zn, Pb та Cd в ґрунтах різнофункціональних зон впливу ДП «Черкаська ТЕЦ»

Дослідна ділянка	Зона впливу	Ґрунтово-геохімічні асоціації
район Південний	Промислова СЗЗ: «ДП Черкаська ТЕЦ»	Cu <sub>15,6*</sub> — Zn <sub>10,0</sub> — Pb <sub>2,6</sub> — Cd <sub>2,0</sub>
	Промислова СЗЗ: ПАТ «Азот»	Zn <sub>12,6</sub> — Cu <sub>9,2</sub> — Pb <sub>2,5</sub> — Cd <sub>2,2</sub>
	Селитебна зона: вул. Нечуя-Левицького	Zn <sub>10,5</sub> — Cu <sub>9,0</sub> — Pb <sub>2,1</sub> — Cd <sub>1,5</sub>
	Рекреаційна: ППСМ Хіміків	Zn <sub>9,4</sub> — Cu <sub>6,6</sub> — Pb <sub>2,1</sub> — Cd <sub>1,8</sub>
	Зона транспортного шляху: автомагістраль проспекту Хіміків	Cu <sub>18,5</sub> — Zn <sub>12,7</sub> — Pb <sub>3,0</sub> — Cd <sub>2,3</sub>

\* коефіцієнт концентрації

У межах досліджених локалітетів щодо вмісту ВМ у ґрунтовому покриві сформувалися такі геохімічні асоціації: мідно – цинко – свинцево – кадмієва (СЗЗ ДП «Черкаська ТЕЦ», транспортна магістраль проспекту Хіміків) та цинко – мідно – свинцево – кадмієва геохімічні асоціації (СЗЗ ПАТ «АЗОТ», селитебна, рекреаційна зона). Концентрації важких металів перевищили фонові показники у 1,5 – 15,6 разів.

Встановлено найвищий коефіцієнт концентрації та сумарний показник забруднення ґрунтового покриву ( $Z_c = 33,5; 23,6; 27,4$ ) для різнофункціональних територій Південного району загальною площею 4,6 км<sup>2</sup>.

У відповідності до інтервалу сумарного показника хімічного забруднення території належать до сильно та середньо забруднених (Smirnova, 1989).

Зростання техногенного навантаження та катастрофічне збільшення кількості автотранспорту на вулицях міста супроводжується зростанням рухомих форм:  $Cu^{2+}; Zn^{2+}; Pb^{2+}; Cd^{2+}$  в ґрунтах та фітомасі зелених насаджень.

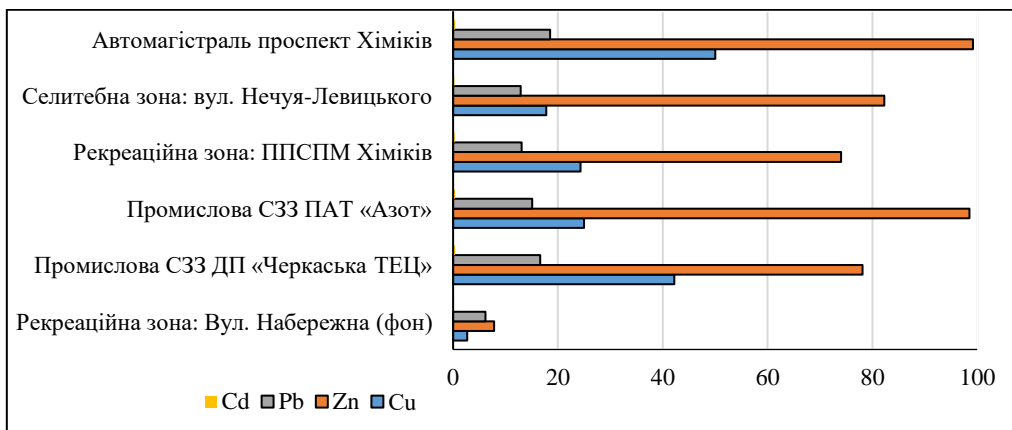
Вміст Cd, Pb, Zn та Cu у ґрунті та листках *Populus pyramidalis* (мг/кг сухої маси) з південного району м. Черкас подано на рис. 2,3, а коефіцієнт накопичення важких металів у вуличних насадженнях - на рис. 4.

За вмістом  $Cu^{2+}$  (рис. 2) найбільш забрудненими є ґрунти локалітетів проспекту Хіміків (50 мг/кг) та СЗЗ зони ДП «Черкаська ТЕЦ» (42,2 мг/кг), де відповідно рівень фонових показників був перевищений у 18,5 і 15,6 рази. Поряд з тим коефіцієнт біологічного накопичення Cu, який дорівнює співвідношенню вмісту елемента у біомасі листків і вмісту його рухомих форм у прикореневому шарі ґрунту варіював у межах 0,12 – 0,38 (рис. 4). Найбільші коефіцієнти накопичення встановлено для локалітетів: СЗЗ ДП «Черкаська ТЕЦ» ( $K_n = 0,38$ ); СЗЗ ПАТ «Азот» ( $K_n = 0,34$ ); автомагістраль проспекту Хіміків ( $K_n = 0,3$ ) (рис. 4).

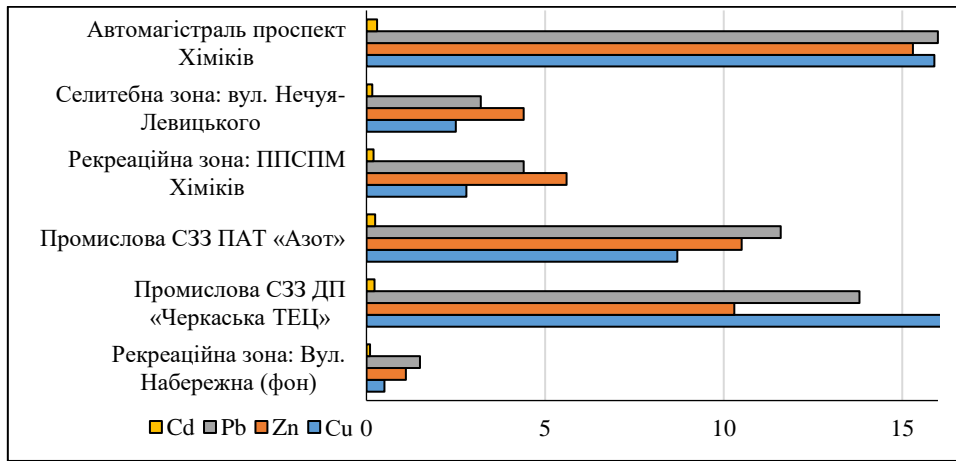
За вмістом  $Pb^{2+}$  (рис. 2) ґрунти території дослідження суттєво не відрізнялися. Максимальні рівні свинцю були виявлені в зразках ґрунту з локалітетів автомагістраль проспекту Хіміків (18,5 мг/кг), СЗЗ ДП «Черкаська ТЕЦ» (16,6) та ПАТ «Азот» (15,1), мінімальні – вул. Нечуя-Левицького (12,9 мг/кг). Коефіцієнт накопичення Pb варіював у межах 0,3 – 0,86 (рис. 4). За таких показників  $K_n$  можна стверджувати про середній ступінь інтенсивності поглинання.

Найвищий вміст  $Zn^{2+}$  (рис. 2) було виявлено у ґрунтах з локалітетів проспекту Хіміків (99,2 мг/кг), ПАТ «Азот» (98,1 мг/кг), вул. Нечуя-Левицького (82,3 мг/кг), СЗЗ ДП «Черкаська ТЕЦ» (78,1 мг/кг). Рівень забруднення ґрунтів Zn з різних локалітетів виявився підвищеним за фонові показники у 9,5 – 12,7 рази.

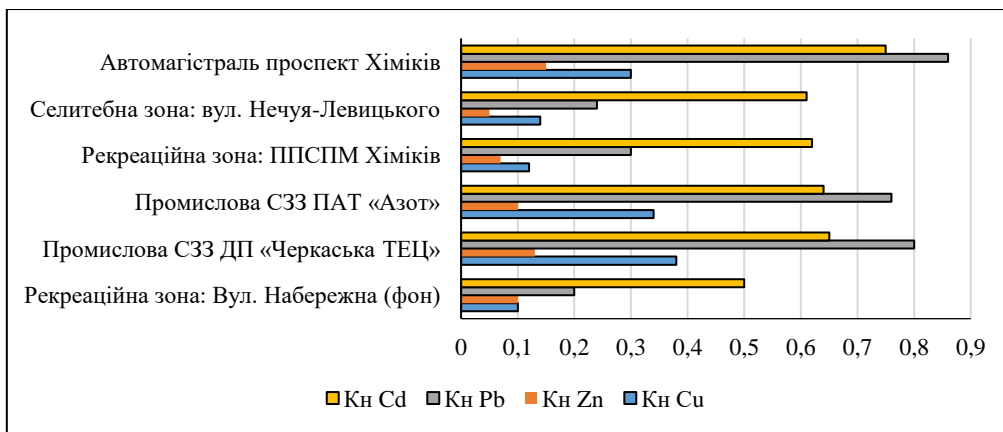
Коефіцієнт накопичення Zn, варіював у межах 0,05 – 0,15 (рис. 4). За таких показників  $K_n$  можна стверджувати про низьку біологічну доступність для рослин.

**Рисунок 2.** Уміст Cd, Pb, Zn, Cu у ґрунті *Populus pyramidalis* (мг/кг сухої маси) з південного району м. Черкас, 2016 р.



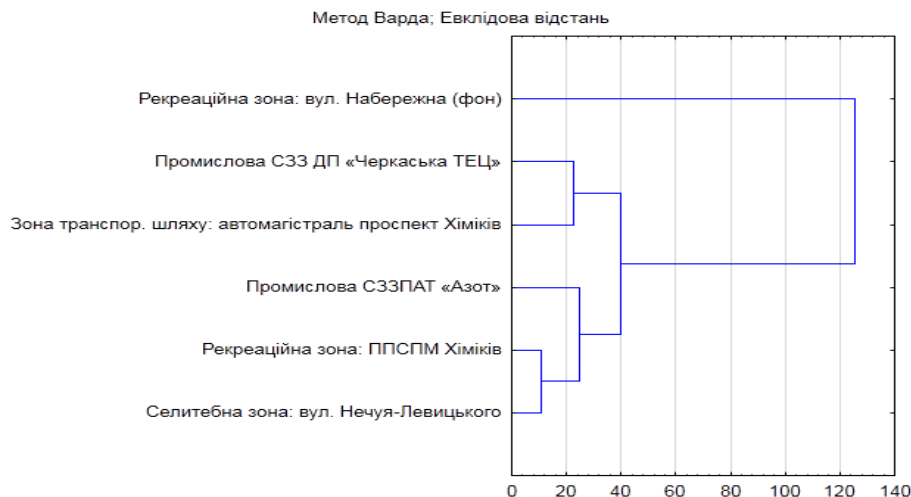


**Рисунок 3.** Уміст Cd, Pb, Zn, Cu у листках *Populus pyramidalis* (мг/кг сухої маси) з південного району м. Черкас, 2016 р.

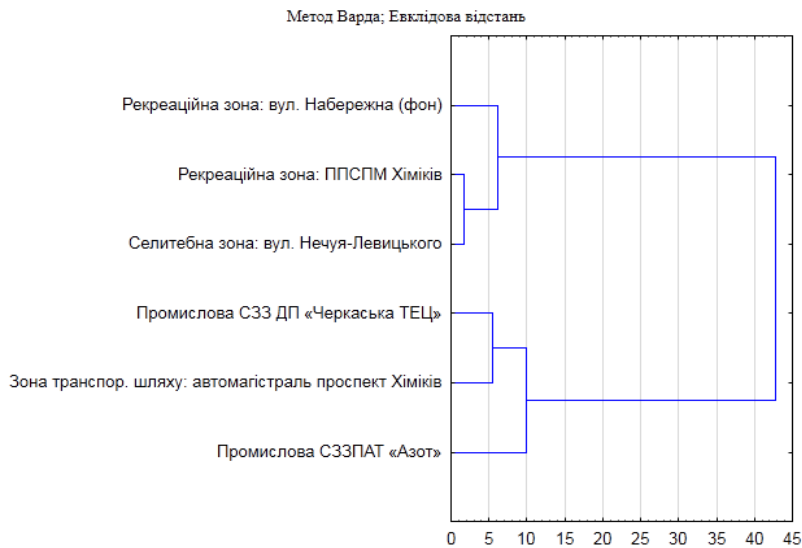


**Рисунок 4.** Коефіцієнт накопичення важких металів (Cd, Pb, Zn, Cu) у вуличних насадженнях південного району м. Черкас, 2016 р.

Мінімальний вміст Cd<sup>2+</sup> (рис. 3) у листках становив 0,16 мг/кг (вул. Нечуя Левицького) максимальне – 0,3 мг/кг (автомагістраль проспект «Хіміків»). При цьому найвищий та найнижчий рівень забруднення ґрунту кадмієм спостерігався у тих же локалітетах – відповідно – 0,26мг/кг (вул. Нечуя Левицького) та 0,4 мг/кг (автомагістраль проспект «Хіміків») (рис. 2). Достатньо високі концентрації кадмію встановлено для локалітетів зони ДП «Черкаська ТЕЦ» (0,35 мг/кг) та СЗЗ ПАТ «Азот» (0,35 мг/кг). Рівень забруднення ґрунтів виявився вищим за фонові показники у 1,52 – 2,35 рази. Показник коефіцієнта накопичення (Кн) знаходився у межах від 0,61 (вул. Нечуя Левицького) до 0,75 (автомагістраль проспект «Хіміків»), що свідчить про середню інтенсивність біологічного поглинання кадмію (рис. 4). За результати проведених досліджень створені дендрограми подібності умісту важких металів у ґрунті та листках Південного району м. Черкас (рис. 4-5).



**Рисунок 5.** Дендрограма подібності локалітетів за умістом мікроелементів у ґрунті



**Рисунок 6.** Дендрограма подібності локалітетів за умістом мікроелементів у листках (мг/кг сухої маси)

Як метод об'єднання використовували Евклідову відстань, а для об'єднання кластерів користувались методом Варда, в основі якого лежить дисперсійний аналіз оцінки відстаней між кластерами. Слід відзначити, що утворена дендрограма (рис.5) має один великий кластер, що включає два додаткові кластери. На рис. 6 представлено один великий кластер, що включає чотири підкластери.

## Висновки

Ґрунти зон зелених насаджень міста не залежно від ступеня антропогенного навантаження мають наближені до критичних значень відхилення фізико-хімічних властивостей, що характеризує їх як техногенно трансформовані, малопродатні для росту, розвитку та відтворення деревних насаджень.

Високі показники концентрації ВМ в районі ПАТ «Азот», яке не є джерелом їхньої емісії, пояснюється тим, що на території відбувається взаємодія техногенних ореолів ДП «Черкаська ТЕЦ» за напрямом пануючих вітрів і транспортних потоків. Показники сформованих ґрунтово-геохімічних асоціацій свідчать, що основним джерелом надходження Zn, Cu є викиди ДП «Черкаська ТЕЦ», а Pb, Cd – автотранспорт.

У рядах порівняльної інтенсивності накопичення ВМ в листках *P. pyramidalis* досліджені метали розташувались наступним чином: Pb>Cd>Cu>Zn. Не дивлячись на те, що вміст рухомих форм Cu, Zn, Pb та Cd в ґрунтах дослідних ділянок у декілька разів перевищував фонові показники, коефіцієнт накопичення в листках коливався в незначних межах. Відповідно до показників Кн листки *P. pyramidalis* мають низьку біологічну доступність щодо Cu, Zn, а доступність Pb, Cd наближається до середніх показників.

В умовах надмірного надходження до міських ландшафтів ВМ внаслідок функціонування ДП «Черкаська ТЕЦ» та автотранспорту, *P. pyramidalis* слід розглядати як один із найважливіших біофільтрів за відношенням до свинцю і кадмію.

## References

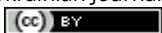
- Baltrenas, P., Vaitkute, D. (2011). Investigation and evaluation of copper and zinc concentration tendencies in *Pinussylvestris* L. tree-rings. *Journal of environmental engineering and landscape management*, 19(4), 278–286.
- Berinya, D.Z., Kalvinya, L.K. (1989). *Raspredeleniye vypadeniy vybrosov avtotransporta i zagryazneniye pochv pridorozhnoy polosy. Vozdeystviye vybrosov avtotransporta na pridorozhnyuyu sredu*. Riga: Zintane (in Russian).
- Bioindykatsiya tekhnogennoho zabrudnennia mista Kyeve: metodychni pidkhody (2016). O.P. Dmitriev (Ed.). Kyiv: Nash format (in Ukrainian).
- Bräker, O.U. (2002). Measuring and data processing in tree-ring research – a methodological introduction. *Dendrochronologia*, 20(1-2), 203–216.
- Bulygina, S.Yu. (1999). *Metody analiziv hruntiv i roslyn: metodychni posibnyk*. Kharkiv, 156 p. (in Ukrainian).
- Butkus, D., Baltrėnaitė, E. (2007). Transport of heavy metals from soil to *Pinus sylvestris* L. and *Betula pendula* Roth. trees. *Ekologija*, 53(1), 29–36.
- Chauhan, A. (2010). Photosynthetic pigment changes in some selected trees induced by automobile exhaust in Dehradun, Uttarakhand. *New York Science Journal*, 3, 45–5.
- Didukh, Ya.P. (2012). *Osnovy bioindykatsii*. Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).
- Hutsuliak, V.M. (2002). *Landshaftna ekolohia: geokhimichniy aspekt: navchalnyi posibnyk*. Chernivtsi: Ruta (in Ukrainian).
- Ivanov, A.F. (1970). *Rost drevesnykh rasteniy i kislotnost' pochv*. Minsk: Nauka i tekhnika (in Russian).

- Kardel, F., Wuyts, K., Maher, B. A., Hansard, R., Samson, R. (2011). Leaf saturation isothermal remnant magnetization (SIRM) as a proxy for particulate matter monitoring: inter-species differences and in season variation. *Atmospheric Environment*, 45(29), 5164–5171.
- Korneliuk, N.M. (2007). Ekoloho-hihienichna otsinka zabrudnennia gruntu vazhkymy metalamy, yak pokaznyka intensyvnosti tekhnohennoho vplyvu (na prykladi m. Cherkasy). *Visnyk Kremenchuts'koho derzhavnogo politekhnichnogo universytetu im. M. Ostrohradskoho*, 2 (43), 2, 119-121 (in Ukrainian).
- Korneliuk, N.M., Mysliuk, O.O. (2007). Pryrodni i antropohenni faktory aerotekhnohennoho zabrudnennya m. Cherkasy vazhkymy metalamy. *Povidomlennya 1. Visnyk L'vivs'ka politekhnika*, 590, 260-269 (in Ukrainian).
- Kulagin, A.A. (2003). Osobenosti razvitiia topoliabal'zamicheskogo (*Populus balsamifera* L.) v usloviakh zagrazneniia okruzhaiushchei srody metalami. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 5,23, 334-341 (in Russian).
- Lutsyshyn, O.H., Radchenko, V.H., Palapa, N.V., Yavorivs'kyi, P.P. (2010). Monitorynh zabrudnennia system grunt – roslyna fitotoksychnymy elementamy v zelenykh zonakh m. Kyiv. *Dopovid NAN Ukrainy*, 2, 194-199 (in Ukraine).
- Mysliuk, O.O., Korneliuk, N.M. (2008). Ekolohichni aspekty funktsionuvannya Cherkas'koyi TETS. *Visnyk Kremenchuts'koho derzhavnogo politekhnichnogo universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*, 1(48), 111-115 (in Ukrainian).
- Mysliuk, O.O., Korneliuk, N.M. (2009). Analiz heokhimichnykh chynykyv stiykosti urbolandshaftiv m. Cherkasy shchodo zabrudnennia vazhkymy metalamy. *Pytannia stepovogo lisoznavstva ta lisovoyi rekul'tyvatsiyi zemel'*. *Dnipropetrovs'k*, 38, 144-153 (in Ukrainian).
- Pasichnyi, H.V., Serdiuk, V.M. (2002). Dynamika vazhkykh metaliv v gruntovomu pokryvi u zviazku z tekhnohennym zabrudnenniam otochuyuchoho seredovyscha (na prykladi m. Dnipropetrovs'ka). *Ekolohiia ta pryrodokorystuvannia*, 4, 111-117 (in Ukrainian).
- Perel'man, A.I., Kasimov, I.S. (1999). *Geokhimiia landshafta: uchebnyk*. Moskva: Astreia-2000, 768 p. (in Russian).
- Smirnova, R.S., Revich, B.A. (1989). *Sistema geokhimicheskikh pokazateley dlya otsenki okruzhayushchey srody pri razrobotke territorial'nykh kompleksnykh skhem okhrany prirody gorodov*. Biokhimicheskiye metody pri izuchenii okruzhayushchey srody. Moscow. Moscow State University Press. (in Russian).
- Verma, A., Singh, S. (2006). Biochemical and ultrastructural changes in plant foliage exposed to auto-pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 120, 585–602.
- Vovk, O.B. (2007). Osoblyvosti hruntovoho monitorynhu v umovakh mista (na prykladi m. Lvova). *Ecology and noospherology*, 18, 1-2, 57-63 (in Ukrainian).

---

**Citation:**

Kornelyuk, N.M., Khomenko, O.M. (2018). Bioaccumulation of heavy metals by the urban trees around Cherkassy thermal power plant. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 953–960.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License

---