



Copyright (c) 2025 Yuliia Stupak, Erzsébet Kohut

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Юлія Ступак, Ержибет Когут

**БІОІНДИКАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ *ULMUS PUMILA* L.
У НАКОПИЧЕННІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ПОБЛИЗУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ**

Yuliia Stupak, Erzsébet Kohut

**BIOINDICATION POTENTIAL OF *ULMUS PUMILA* L. IN THE ACCUMULATION
OF HEAVY METALS NEAR RAILWAY TRACKS****АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. Дослідження спрямоване на визначення вмісту важких металів (Cu, Cd, Pb) у листі *Ulmus pumila* L. та ґрунті, відібраних безпосередньо в місцях зростання цього виду, на різних відстанях від залізничних колій на південно-східній околиці м. Чернігова. Основна увага приділялася порівняльному аналізу концентрацій між дослідними ділянками та контролем з метою оцінки можливостей використання *U. pumila* як біоіндикатора техногенного забруднення територій, що зазнають інтенсивного антропогенного навантаження.

Методологія. Листя *U. pumila* відбирали на відстані 2, 10 і 70 м від залізничних колій та на контрольній ділянці. Ґрунтові проби відбирали безпосередньо у місцях зростання досліджуваного виду. Відібрані зразки очищували від пилу, висушували, піддавали озоленню та аналізували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії, що забезпечило отримання достовірних і точних кількісних даних. Для підвищення надійності результати визначали у десятикратній повторності, порівнювали з контрольними показниками та розраховували коефіцієнти транслокації, які дозволили оцінити здатність рослини транспортувати метали з ґрунту в надземні органи, а саме листя.

Наукова новизна. Здійснено комплексну оцінку вмісту Cu, Cd і Pb у листі *U. pumila* та ґрунті південно-східній околиці м. Чернігова, поблизу залізничних колій, із визначенням коефіцієнтів транслокації цих елементів. Встановлено здатність *U. pumila* ефективно акумулювати Pb із ґрунту та атмосфери, що розширює уявлення про її біоіндикаційні властивості й підтверджує доцільність використання цього виду як індикатора техногенного забруднення.

Висновки. Концентрації Cu, Cd і Pb у листі *U. pumila* перевищують контрольні значення, найбільші показники зафіксовані на відстанях 2–10 м від залізничних колій. Найбільш рухомим виявився Pb, для якого значення коефіцієнта транслокації перевищує 1, що свідчить про його активне надходження в листя. Отримані результати підтверджують можливість використання *U. pumila* як фітоіндикатора для моніторингу рівня забруднення важкими металами у зоні впливу залізничного транспорту.

Ключові слова: акумуляція, важкі метали, інвазійний вид, *Ulmus pumila* L., фітоіндикатор

ABSTRACT

Purpose of the work. The study is aimed at determining the content of heavy metals (Cu, Cd, Pb) in the leaves of *Ulmus pumila* L. and in the soil sampled directly at the sites of this species' growth, at different distances from railway tracks on the southeastern outskirts of Chernihiv. The main focus was placed on the comparative analysis of concentrations between the studied plots and the control in order to assess the potential of *U. pumila* as a bioindicator of technogenic pollution in areas exposed to intensive anthropogenic pressure.

Methodology. Leaves of *U. pumila* were collected at distances of 2, 10, and 70 m from railway tracks and at a control site. Soil samples were taken directly from the places of growth of the studied species. The collected samples were cleaned from dust, dried, ashed, and analyzed using atomic absorption spectrophotometry, which ensured the acquisition of reliable and accurate quantitative data. To increase the reliability of the results, measurements were performed in tenfold replication, compared with control values, and translocation coefficients were calculated to evaluate the ability of the plant to transfer metals from the soil to the aboveground organs, namely the leaves.

Scientific novelty. A comprehensive assessment of the content of Cu, Cd and Pb in the leaves of *U. pumila* and the soil of the southeastern outskirts of Chernihiv, near the railway tracks, was carried out, with the determination of the translocation coefficients of these elements. The ability of *U. pumila* to effectively accumulate Pb from the soil and atmosphere was established, which expands the understanding of its bioindicative properties and confirms the feasibility of using this species as an indicator of technogenic pollution.

Conclusions. The concentrations of Cu, Cd and Pb in the leaves of *U. pumila* exceed the control values, the highest values are recorded at distances of 2–10 m from the railway tracks. The most mobile was Pb, for which the value of the translocation coefficient exceeds 1, which indicates its active entry into the leaves. The results obtained confirm the possibility of using *U. pumila* as a phytoindicator for monitoring the level of heavy metal pollution in the area affected by railway transport.

Key words: accumulation, heavy metals, invasive species, *Ulmus pumila* L., phytoindicator

Вступ

На сьогодні питанням проблеми та контролю забруднення навколишнього середовища важкими металами є ключовим питанням в екології. Важкі метали природним чином містяться в довкіллі, однак при надмірному викиді внаслідок природних процесів або антропогенної діяльності можуть спричиняти екологічні проблеми (Sumalan et al., 2023). Ці хімічні елементи відносяться до гетерогенної групи елементів, різноманітної за функціями та хімічними властивостями. Більшість із них відноситься до перехідних елементів періодичної системи (Kiran et al., 2022). Одними з провідних джерел забруднення навколишнього природного середовища важкими металами є залізнична інфраструктура. Основний шлях надходження у ґрунтове середовище пов'язаний з транспортуванням вантажів, під час якого відбувається розсипання, розлив чи просипання речовин на колії та прилеглі території (Samarska & Zelenko, 2018).

Відомо, що концентрація важких металів зменшується зі збільшенням відстані від залізничних колій (Dimitrijević et al. 2024). Основними джерелами цих елементів є частинки, що внаслідок експлуатації інфраструктури, зокрема тертя деталей із залізом (Burkhardt et al. 2008). Залізничний транспорт вважається одним з провідних джерел забруднення Cu, Zn, Ni які потрапляють у природне середовище через стирання елементів рейок і рухомого складу. Свинець (Pb) надходить переважно з вихлопних газів (Brtnický et al. 2022). Значним джерелом кадмію (Cd), є зношування рейок і коліс, корозія металевих конструкцій, а також використання залізничних шпал, просочених креозотом (Dimitrijević et al. 2024). Таким чином, функціонування залізничного транспорту безпосередньо пов'язане з надходженням важких металів у ґрунт, воду та рослинність, що призводить до їх накопичення та екологічних ризиків.

Рослини, у свою чергу здатні акумулювати значну кількість важких металів із ґрунту, виконуючи роль природних біофільтрів. Тому вивчення механізмів і рівнів їх накопичення листям деревних порід в умовах техногенного забруднення є важливим етапом для визначення ефективних фітоіндикаторів придатних для моніторингу стану навколишнього природного середовища.

Також численні дослідження показали, що вплив важких металів може не тільки порушити ріст і розмноження рослин (Goyal et al., 2020) але й потенційно сприяти інвазійності немісцевих рослин. Наприклад, низка інвазійних видів рослин продемонструвала кращу стійкість до важких металів і підвищену здатність накопичувати ці метали порівняно з місцевими видами рослин, що надає їм конкурентну перевагу перед місцевими співіснуючими видами рослин (Lin et al., 2025).

Ulmus pumila (L.) – є досить поширеним інвазійним деревним видом на територіях прилеглих до залізничних колій розташованих на південно-західній околиці Чернігова. Вид добре адаптований до умов урбанізованого середовища про що свідчить його чисельність. Визначення концентрації важких металів у листі та водночас, дослідження ґрунту в місцях зростання цього виду дає змогу комплексно оцінити рівень техногенного навантаження й з'ясувати чи може він використовуватися як фітоіндикатор для моніторингу забруднення довкілля.

Накопичення вмісту важких металів в листях дерев і чагарників *U. pumila* досліджували у своїх роботах В. Бессонова та І. Зайцева в умовах зростання цього виду в промислових районах міста Дніпра (Bessonova & Zaytseva, 2008). У дослідженні Lu et al., (2024) було вивчено забруднення ґрунтів важкими металами та збагачувальну здатність місцевих рослин у районах видобутку вугілля в Гуанасі, Китай. Одним із досліджуваних видів є *U. pumila*, що дозволяє безпосередньо порівняти показники накопичення

металів (Lu et al., 2024). Здатність до поглинання свинцю в різних частинах рослин і фактори його впливу досліджували у своїх роботах Jia et al. (2022), а забруднення ґрунту та рослин важкими металами в районі старого залізничного вузла Тарновські-Гори описали Malawska & Wiłkomirski (2001).

Об'єктом дослідження є листя *U. pumila* та зразки ґрунту, відібрані в зоні залізничного транспорту.

Тож метою дослідження є визначення вмісту важких металів (Cu, Cd, Pb) та порівняльний аналіз концентрації цих хімічних елементів у листі *U. pumila* і в ґрунті в місцях зростання цього виду, окрема в умовах техногенного забруднення в зонах, прилеглих до залізничних шляхів на південно-західній околиці Чернігова.

Матеріали та методи дослідження

Відбір листя *U. pumila* проводився в травні 2025 року, в суху погоду, на територіях з різним рівнем забруднення. Збір проб листя здійснювали на відстані 2, 10 та 70 м від залізничних колій. Листя відбирали у дерев у різних частин крони на висоті 1 – 2 м. Контрольні проби зразків листя, відбирали з ділянок з найменшою ймовірністю техногенного забруднення. З поверхні зібраних листків у лабораторних умовах дистильованою водою змивали залишки пилу. Озолення рослинного матеріалу проводили за загальноприйнятою методикою. Для дослідження листя *U. pumila*, відбраного в зоні зростання біля залізничних шляхів, на вміст важких металів, використовували метод атомно-абсорбційної спектrophотометрії. Результати вмісту важких металів у листі *U. pumila* було порівняно з контролем. Для забезпечення достовірності даних

відбір зразків листя та ґрунту проводили десятикратно в кожній дослідній зоні.

Ґрунтові проби для визначення вмісту важких металів відбиралися у безпосередньому місці зростання досліджуваних представників *U. pumila* у поліетиленові пакети з фіксацією місця збору. Безпосередньо після відбирання проби ґрунту висушували до повітряно-сухого стану у приміщенні, яке добре провітрювалося. Далі відбирали середню пробу масою 200 г (для визначення кожного, розсипали на кальці й розминали товкачиком великі грудки, розтирали у ступці і просіювали через сито). Вміст рухомих форм важких металів (в амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8), зокрема Cu, Cd, Pb у ґрунті визначали за загальноприйнятими методами згідно ДСТУ 4770.2:2007 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії (State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine, 2007, 2008, 2009).

Визначали коефіцієнт транслокації важких металів із ґрунту в листя *U. pumila* за такою формулою:

$$K_{тр} = \frac{C_{гр}}{C_{л}}$$

де $K_{тр}$ – коефіцієнт транслокації;

$C_{гр}$ – вмісту рухомих форм елемента в ґрунті;

$C_{л}$ – вміст елемента в листках (Hussain et al., 2022).

Результати дослідження та обговорення

Результати дослідження показали, що в листі *U. pumila*, за умов зростання в зонах прилеглих до залізничних шляхів, накопичення важких металів вище, ніж за умов контролю (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст важких металів у листі *U. pumila*, (мг/кг)

№ ділянки (місце відбору)	Елемент		
	Cu	Cd	Pb
Ділянка № 1 (2 м від залізничних колій)	2,880 ± 0,340	0,026 ± 0,0021	0,670 ± 0,070
Ділянка № 2 (10 м від залізничних колій)	2,730 ± 0,280	0,031 ± 0,005	0,540 ± 0,040
Ділянка № 3 (70 м від залізничних колій)	2,190 ± 0,210	0,018 ± 0,001	0,150 ± 0,010
Контроль	2,170 ± 0,210	0,017 ± 0,001	0,120 ± 0,010

Вміст купруму у листі *U. pumila* (рис. 1) у зоні, прилеглій до залізничних шляхів перевищує контрольні значення у 1,00 – 1,33 раза.

Найбільший вміст Cu зафіксовано в зразках, відібраних для дослідження на відстані 2 м від залізничних колій. Аналіз вмісту кадмію (рис. 2) показав максимальне значення 0,031 мг/кг у зразках з ділянки 2 (10 м від колій), що у 1,7 раза вище порівняно з контролем. Також зафіксовано підвищення концентрації Cd на ділянках 1 та

3 – у 1,5 та 1,05 раза відповідно. Встановлено перевищення у 1,25 – 5,5 раза вмісту Pb в листі *U. pumila* відносно контролю (рис. 3). Найвищі концентрації Pb спостерігаються на ділянці 1, розташованій безпосередньо біля залізничних колій.

Таким чином, результати дослідження показали, що листя *U. pumila* зібране на відстані 2 і 10 м від залізничних колій характеризується найвищим вмістом важких металів у порівнянні з контрольними ділянками.

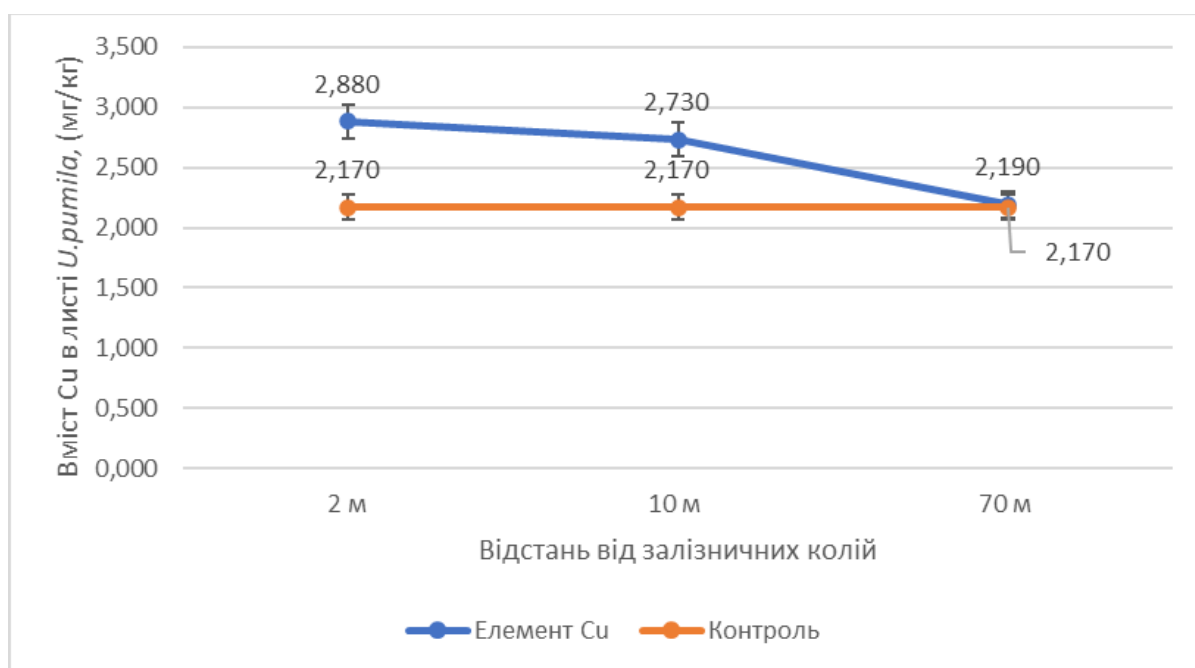


Рис. 1. Вміст Cu в листі *U. pumila* у порівнянні з контролем

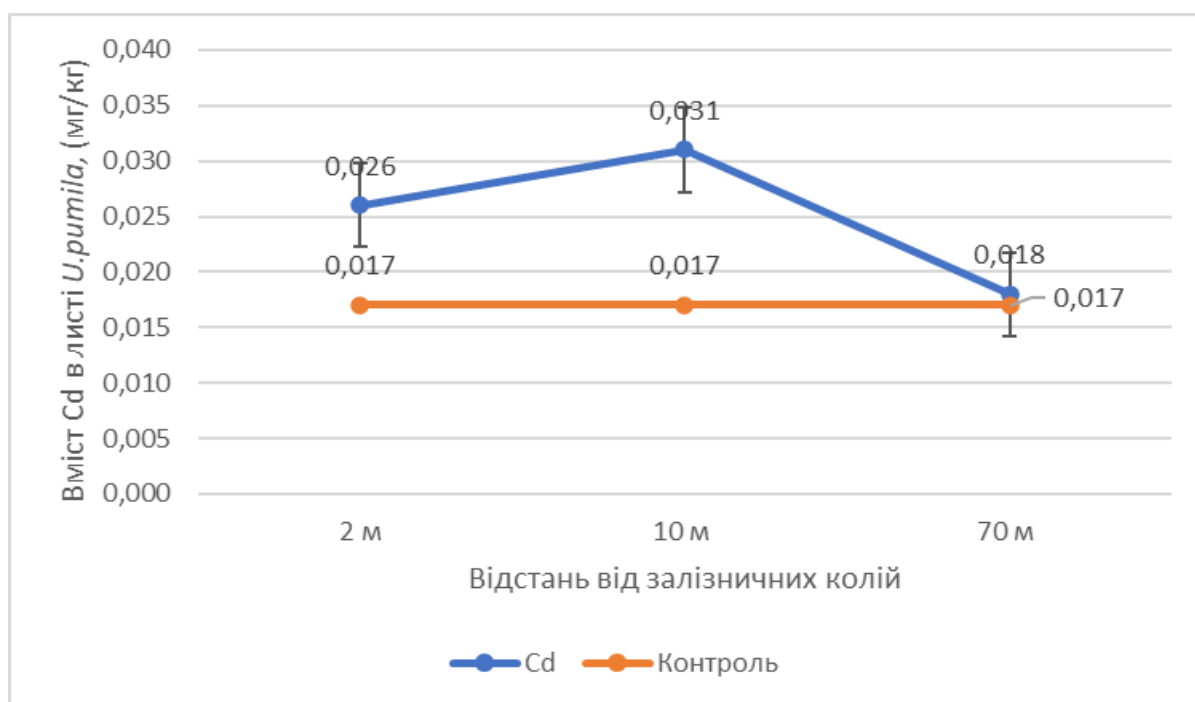


Рис. 2. Вміст Cd в листі *U. pumila* у порівнянні з контролем

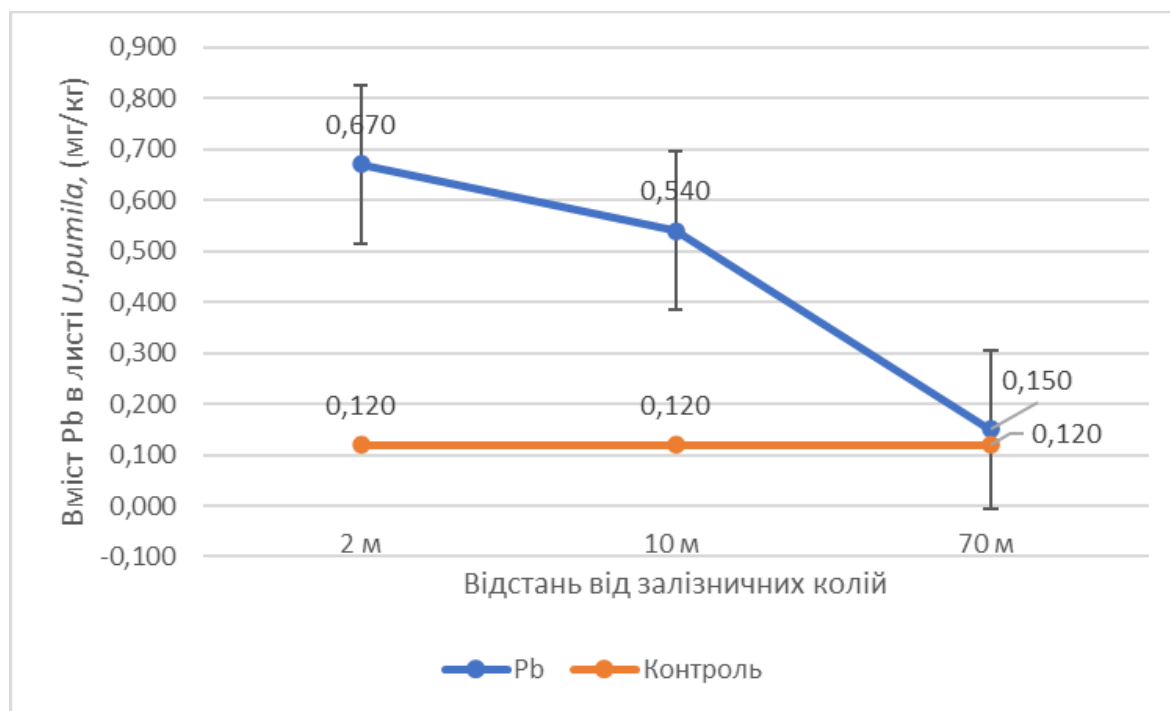


Рис. 3. Вміст Pb в листі *U. pumila* у порівнянні з контролем

Представлені результати експериментальних досліджень накопичення іонів важких металів у листі *U. pumila*, створюють підґрунтя для аналізу їхньої подальшої транслокації в системі «грунт-рослина». Концентрації важких металів в ґрунті поблизу залізничних колій представлені в таблиці 2.

На основі отриманих даних було розраховано коефіцієнти транслокації, результати яких подано на рис. 4. Аналіз надходження іонів важких металів у листя контрольних зразків дав змогу об'єктивно визначити ступінь їх доступності в ґрунтовому середовищі.

Таблиця 2

Концентрація важких металів в ґрунті поблизу залізничних колій (мг/кг)

№ ділянки (місце відбору)	Елемент		
	Cu	Cd	Pb
Ділянка № 1 (2 м від залізничних колій)	0,4900 ± 0,01	0,0079 ± 0,0002	0,6200 ± 0,02
Ділянка № 2 (10 м від залізничних колій)	0,3600 ± 0,01	0,0053 ± 0,0002	0,8100 ± 0,02
Ділянка № 3 (70 м від залізничних колій)	0,2500 ± 0,01	0,0042 ± 0,0001	0,5000 ± 0,02
Контроль	0,2500 ± 0,01	0,0041 ± 0,0001	0,5400 ± 0,02

Згідно з даними на рис. 4, для Cd і Cu як у контрольних умовах, так і за впливу залізничного забруднення значення коефіцієнту транслокації перебувають у межах 0,11 – 0,3 (транслокаційний коефіцієнт < 1,0). Це свідчить про наявність антиконцентраційного бар'єра (Котарова, 2019), що зумовлює обмежене переміщення цих елементів із ґрунту в листя *U. pumila*. Такі результати

можуть пояснюватися як внутрішніми механізмами детоксикації рослини, так і низькою мобільністю металів у ґрунтовому середовищі (Tang. et al., 2023).

Для Pb на ділянках, розташованих ближче до залізничних шляхів значення коефіцієнта транслокації коливається в межах 1,5 – 4,25 (транслокаційний коефіцієнт > 1). Це вказує на активне поглинання та транс-

портування цього елемента в листя рослини, причому його значення істотно перевищує показники для Cd і Cu. Особливо високий рівень зафіксовано в контрольній зоні (4,25), що може бути пов'язано з додатковим надходженням Pb з атмосферного повітря, зокрема через близьке розташування ТЕЦ

(Komarova, 2019). Таким чином, визначені нами коефіцієнти транслокації для Pb підтверджують безбар'єрний характер його надходження в рослину в системі «грунт-листок» на ділянках 10 м, 70 м та контрольній зоні.

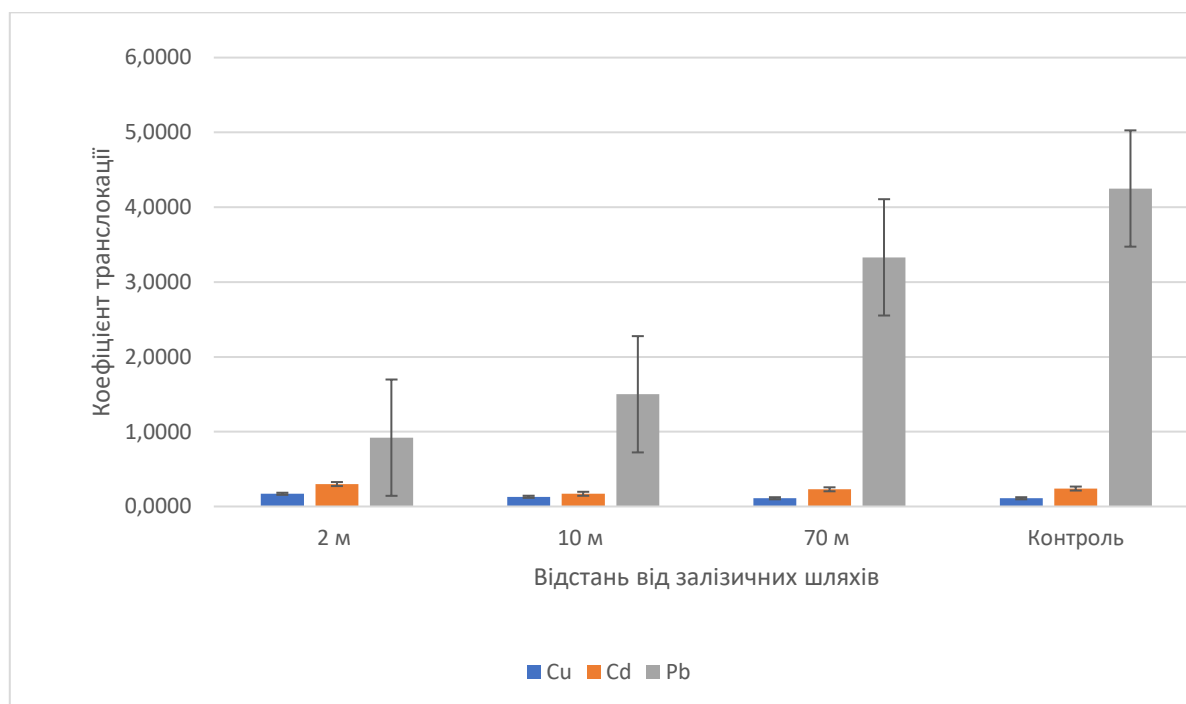


Рис. 4. Значення коефіцієнту транслокації важких металів із ґрунту в листя *U. pumila*

Згідно з отриманими результатами, найвищий рівень вмісту Cu у ґрунті зафіксовано на ділянці 2 м від залізничних шляхів, що перевищує контроль у 1,96 раза, тоді як у листі – у 1,3 раза. Аналогічні тенденції було виявлено у дослідженні Malawska & Wiłkomirski (2001), де концентрація Cu в ґрунті в районі залізничного вузла Тарновське Гури та в листі *Taraxacum officinale* була найвищою поблизу колій і зменшувалася зі збільшенням відстані, що підтверджує вплив залізничного транспорту як джерела забруднення.

Максимальний вміст Cd у листі *U. pumila* зафіксовано на відстані 10 м від колій і становив 0,031 мг/кг, що в 1,52 раза перевищує контроль (0,017 мг/кг). Для порівняння за даними Lu et al. (2024), середній вміст Cd у листі *U. pumila* у районах вугільних шахт Ганьсу (Китай) становив 0,07 мг/кг, що у 4,12 раза вище від нашого контрольного рівня. Це свідчить про суттєво вищий рівень техногенного забруднення

ґрунтів у районах гірничодобувної діяльності. Отримані результати підтверджують здатність *U. pumila* до накопичення Cd, проте рівень акумуляції істотно залежить від екологічних умов.

Вміст Pb у ґрунті перевищує контрольні показники в 1,1 раза, тоді як у листі *U. pumila* – у 5,5 раза, що свідчить про значне переважання акумуляції цього металу у надземних органах. Подібні результати наведено у дослідженні Jia et al., 2022, де встановлено здатність деревних видів, у тому числі *U. pumila*, інтенсивно накопичувати Pb у листі. Таким чином, свинець виявився найбільш рухомим елементом, що свідчить про його активне транспортування з ґрунту до листя.

Висновки

Результати дослідження підтверджують, що *U. pumila* може бути ефективним фітоіндикатором рівня забруднення важкими металами у зонах впливу залізничного

транспорту. Встановлено, що концентрації Cu, Cd і Pb у листі значно перевищують контрольні значення, причому найбільш мобільним елементом є Pb, тоді як Cu і Cd характеризуються проявами бар'єрних механізмів. Здатність *U. pumila* до накопичення

важких металів за умов збереження життєздатності свідчить про перспективність використання цього виду як біоіндикатора у системах моніторингу техногенного забруднення навколишнього природного середовища.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора / Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Незастосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Незастосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Babar, H., Abbas, Y., Shafeeq ur-Rahman, Ali, H., Zafar, M., Ali, S., Ashraf, M. N., Zehra, Q., Espinoza, S. T. L., & Valderrama, J. R. D. (2022). Metal and metalloids speciation, fractionation, bioavailability, and transfer toward plants. In T. Aftab & K. Hakeem (Eds.), *Metals Metalloids Soil Plant Water Systems* (pp. 29–50). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91675-2.00026-3>

Bessonova, V. P., & Zaytseva, I. A. (2008). The content of heavy metals in the leaves of trees and shrubs under conditions of technogenic pollution of different origin. *Issues of Bioindication and Ecology*, 13(2), 62–77. (In Ukrainian) https://sites.znu.edu.ua/bioindication/issues/2008-13-2/bessonova_zaiyceva.pdf

Бессонова В. П., Зайцева І. А. Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. *Питання біоіндикації та екології*. 2008. Вип. 13, № 2. С. 62–77. https://sites.znu.edu.ua/bioindication/issues/2008-13-2/bessonova_zaiyceva.pdf

Brtnický, M., Pecina, V., Juříčka, D., Kowal, P., Vašinová Galiová, M., Baltazár, T., & Radziemska, M. (2022). Can rail transport-related contamination affect railway vegetation? A case study of a busy railway corridor in Poland. *Chemosphere*, 293, 133521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133521>

Burkhardt, M., Rossi, L., & Boller, M. (2008). Diffuse release of environmental hazards by railways. *Desalination*, 226(1–3), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.102>

Dimitrijević, J., Zlatanovic, E., Bonic, Z., Đorđević, D.M., & Zafirovski, Z. (2024). Railway transportation as a cause of cadmium pollution. In *XXI International Scientific-expert Conference on Railways RAILCON '24* (pp. 89–92). Niš: University of Niš. <https://doi.org/10.5937/Railcon24091D>

Goyal, D., Yadav, A., Prasad, M., Singh, T. B., Shrivastav, P., Ali, A., Dantu, P. K., & Mishra, S. (2020). Effect of heavy metals on plant growth: An overview. In M. Naeem, A. A. Ansari, & S. S. Gill (Eds.), *Contaminants in agriculture: Sources, impacts and management* (pp. 79–101). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_4

Jia, L., Ma, H., Guan, Y., Zou, L., Jiang, L., Hang, Y., Feng, X., Ren, X., Tian, Y., Pan, H., & Rong, S. (2022). Lead absorption capacity in different parts of plants and its influencing factors: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24718-7>

Kiran, Bharti, R., & Sharma, R. (2022). Effect of Heavy Metals: An Overview. *Materials Today: Proceedings*, 51(1), 880–885. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.278>

Komarova, I. O. (2019). *Ecological-biological features of Taraxacum officinale Wigg to the action of heavy metals in the conditions of industrial Kryviy Rih* [Candidate's dissertation, Oles Honchar Dnipro National University]. (In Ukrainian) Dspace Repository <https://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/4165>

Комарова І. О. Еколого-біологічні особливості *Taraxacum officinale* Wigg за дії забруднення важкими металами в умовах промислового Криворіжжя : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. / Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара МОН України. Дніпро, 2019. <https://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/4165>

Lin, T., Manan, A., Yang, S., Zhu, G., Wang, Y., Dai, Z., Vrieling, K., & Li, B. (2025). Heavy metal pollution enhances pathogen resistance of an invasive plant species over its native congener. *Functional Ecology*, 39, 1096–1111. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.70011>

Lu, J., Gao, L., & Wang, H. (2024). Contamination characteristics of heavy metals and enrichment capacity of native plants in soils around typical coal mining areas in Gansu, China. *Scientific Reports*, 14, 29983. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81740-0>

Malawska, M., & Wilkomirski, B. (2001). An analysis of soil and plant (*Taraxacum officinale*) contamination with heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the area of the railway junction Ilawa Glowna, Poland. *Water, Air and Soil Pollution*, 127, 339–349. <https://doi.org/10.1023/A:1005236016074>

Samarska, A. V., & Zelenko, Y. V. (2018). Assessment of the railway influence on the heavy metal accumulation in soil. *Science and Transport Progress*, 4(76), 25–35. <https://doi.org/10.15802/stp2018/140551>

State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine. (2007). Soil quality. Determination of the content of mobile compounds of cadmium in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry: DSTU 4770.3:2007. (In Ukrainian)

ДСТУ 4770.3:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2007-04-28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарту України, 2009. 9 с.

State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine. (2008). Soil quality. Determination of the content of mobile compounds of copper in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry: DSTU 4770.6:2007. (In Ukrainian)

ДСТУ 4770.6:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2007-04-28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарту України, 2008. 9 с.

State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine. (2009). Soil quality. Determination of the content of mobile compounds of lead in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry: DSTU 4770.9:2007. (In Ukrainian)

ДСТУ 4770.9:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2007-04-28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарту України, 2009. 9 с.

Sumalan, R. L., Nescu, V., Berbecea, A., Sumalan, R. M., Crisan, M., Negrea, P., & Ciulca, S. (2023). The impact of heavy metal accumulation on some physiological parameters in *Silphium perfoliatum* L. plants grown in hydroponic systems. *Plants*, 12(8), 1718. <https://doi.org/10.3390/plants12081718>

Tang, Z., Wang, H. Q., Chen, J., Chang, J. D., & Zhao, F. J. (2023). Molecular mechanisms underlying the toxicity and detoxification of trace metals and metalloids in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 65, 570–593. <https://doi.org/10.1111/jipb.13440>

Received: 28.09.2025. Accepted: 27.10.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Ступак Ю., Когут Е. Біоіндикаційний потенціал *Ulmus pumila* L. у накопиченні важких металів поблизу залізничних колій. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1>

Cite this article in APA style as:

Stupak, Yu., & Kohut, E. Bioindikatsiyni potentsial *Ulmus pumila* L. u nakopychenni vazhkykh metaliv poblyzu zaliznychnykh kolii [Bioindication potential of *Ulmus pumila* L. in the accumulation of heavy metals near railway tracks]. *Biota. Human. Technology*, (3), 12–20. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Stupak Yu. [in Ukrainian: **Ступак Ю.**] ¹, PhD student, email: yuli.reb100@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2514-2577

Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Kohut E. [in Ukrainian: **Когут Е.**] ², PhD (Biology), Assoc. Prof., email: kohut.erszebet@kmf.org.ua
ORCID: 0000-0002-7614-1606

Department of Biology and Chemistry, Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education
6 Kossuth square, Beregszász, Transcarpathia, 90200, Ukraine

¹ Study design, data collection, manuscript preparation, funds collection

² Data collection and analysis, manuscript preparation.