

УДК 504.5:631.414.3:633.883  
DOI: 10.37128/2707-5826-  
2023-1-11

**ЕФЕКТИВНІСТЬ  
ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ  
ЗАБРУДНЕНОГО  
ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ  
ГРУНТУ ЗА  
ВИРОЩУВАННЯ  
РОЗТОРОПШІ  
ПЛЯМИСТОЇ**

**В.В. СНІТИНСЬКИЙ**, доктор біологічних наук, професор, академік НААН України, Львівський національний університет природокористування

**О.П. ТКАЧУК**, доктор с.-г. наук, професор, Вінницький національний аграрний університет

**А.М. РАЗАНОВА**, ст. викладач, Львівський національний університет природокористування

**О.П. КОРУНЯК**, канд. с.-г. наук, декан факультету агротехнологій і природокористування, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

На противагу повітряному та водному середовищам ґрунти не мають здатності до швидкого очищення, тому токсичні речовини, які потрапляють до нього ззовні, можуть довго зберігатися. При цьому токсиканти, включаючись у ланцюги живлення ґрунт – рослини – живий організм, можуть досягати високих рівнів та відзначатися тривалістю дії. Відомо, що накопичення важких металів у ґрунті відбувається за впливу викидів промислових підприємств, при зрошенні стічними водами, вивезенні на сільськогосподарські угіддя мулу після очищення стічних вод, за внесення мінеральних та органічних добрив тощо. За дії важких металів на ґрунти відбувається зміна ґрунтового середовища, виникнення ерозійних процесів, забруднення сільськогосподарської продукції та ін., що зумовлює необхідність пошуку продуктивних та безпечних методів їх очищення.

У статті наведено результати з вивчення ефективності фітореємедіації забрудненого важкими металами сірого лісового ґрунту за його удобрення при вирощуванні розторопші плямистої в умовах Лісостепу Правобережного. За результатами аналізу першоджерел визначено сучасні проблеми деградації ґрунтів, забруднення їх важкими металами та роль фітореємедіації. Виявлено певні зміни інтенсивності винесення з ґрунту свинцю, кадмію та цинку за його удобрення мінеральними добривами: аміачна селітра (60 кг/га), суперфосфат простий (60 кг/га), калій хлористий (60 кг/га), суміш NPK добрив (60/60/60 кг/га) та органічними добривами: перегній (20 т/га), фекал (6 т/га), сидерат (гірчиця).

Встановлено, що удобрення сірих лісових ґрунтів аміачною селітрою, суперфосфатом простим, калієм хлористим, сумішшю NPK добрив сприяло підвищенню винесення з вегетативною масою та насінням розторопші плямистої: свинцю у 2,14 раза, 54,3%, 52,2% та 87,5%; кадмію – у 3,5 раза, 41,9%, 71,1%, 2,2 раза; цинку – у 2,8 раза, 22,7%, 20,1%, 2,6% відповідно. За удобрення ґрунтів перегноєм, фекалом та зеленим добривом (сидерат) спостерігалось підвищення винесення з ґрунту розторопшою плямистою свинцю на 60,1%, 42%, 3,9%; кадмію на 58,0%, 31,3%, 3,2%; цинку у 2,03 раза, 24%, 13,6% відповідно.

**Ключові слова:** розторопша плямиста, ґрунт, мінеральні добрива, органічні добрива, важкі метали, свинець, кадмій, цинк, вегетативна маса, насіння, концентрація.

**Табл. 2. Літ. 12.**

**Постановка проблеми.** Сьогодні однією з найбільших екологічних проблем України є забруднення землі. Ситуація з ґрунтами належить вже не до аграрного питання, а відноситься до проблеми екологічної безпеки країни.

Відомо, що сучасний стан ґрунтів зазнає негативного впливу внаслідок інтенсифікації галузі та техногенної діяльності населення, що супроводжується зростаючим рівнем її деградації, зокрема, зниженням їх родючості та забрудненням різними токсикантами. «Земельний фонд України становить 60,4 млн. га та характеризується надзвичайно високим рівнем освоєння, інтенсивним впливом антропо- та техногенезу на навколишнє природне середовище, зокрема і на земельні ресурси, склад і характер процесів, які відбуваються при використанні земель. В Україні економіка превалює над екологією: до 70% земель – розорані й потребують відновлення", – стверджує Йосип Дорош, директор Інституту землекористування НААНУ [1].

За такого стану ґрунтів постає необхідність пошуку заходів щодо зниження їх деградації. При цьому особливого значення набуває зниження забруднення орних ґрунтів, що тісно пов'язано із безпекою продовольчої сировини рослинного походження та здоров'ям населення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Одним із ефективних заходів щодо відновлення деградованих ґрунтів є фітореMediaція [2, 3]. Значний інтерес для науки і практики представляють рослини, зокрема і лікарські, які можуть не тільки поліпшити стан ґрунтів, а й очистити їх від токсикантів, у тому числі й важких металів. Важкі метали мікроелементи, зокрема Zn та Cu, є складовою частиною багатьох біологічно активних сполук – білків, ферментів, гормонів, тощо. Встановлено, що дія металів на лікарські рослини залежить від складу ґрунту, природи хімічного елемента, а також від іонної або іншої комбінованої форми, яка може бути вилучена з ґрунту рослиною [4].

Надходження надлишкової кількості важких металів у лікарські рослини порушує рівновагу мікро- і макроелементів. Так, при максимальному забрудненні міддю у лікарських рослинах значно знижується вміст кальцію і магнію [5]. Надлишковий вміст у ґрунті кадмію призводить до зменшення у лікарських рослинах кількості фосфору, кальцію, магнію, заліза, а цинку – викликає зменшення фосфору, кальцію, магнію, заліза; свинцю – зменшення фосфору, кальцію, цинку, заліза, міді [6-8].

Також необхідно враховувати, що лікарські рослини по-різному засвоюють деякі метали, наприклад, свинець навіть при високій концентрації в ґрунті знаходиться в слаботорозчинних з'єднаннях і тому рівень його в рослині буде меншим. Цинк – сильно накопичується лікарськими рослинами і утримується в них; мідь, і кадмій – слабо накопичуються і сильно утримуються; свинець – слабо накопичується і слабо утримується в рослинах [9].

Серед лікарських рослин розторопша плямиста характеризується високим рівнем накопичення важких металів у своїй вегетативній масі, що неодноразово доведено переважно на неокультурених угіддях [10, 11]. Водночас недостатньо вивчено винесення важких металів із сірих лісових ґрунтів за вирощення розторопші плямистої в умовах сучасних сівозмін на окультурених угіддях.

**Метою** наших досліджень було виявлення ефективності фітореMediaції сірих лісових ґрунтів при вирощуванні розторопші плямистої за мінерального

та органічного її удобрення.

**Матеріали і методика досліджень.** Дослідження проводили в умовах Лісостепу Правобережного на сірих лісових ґрунтах. Схема досліджень включала два науково-господарські досліди, перший із яких був спрямований на вивчення впливу мінеральних добрив: аміачної селітри (60 кг/га), суперфосфату простого (60 кг/га), калію хлористого (60 кг/га) та їх суміші NPK добрив (60/60/60 кг/га); другий – на вивчення впливу органічних добрив: перегною (20 т/га), дефекату (6 т/га) та сидерату (гірчиця) на накопичення важких металів розторопшою плямистою. Кожен варіант досліджень включав чотири повторності.

Концентрацію свинцю, кадмію, цинку в ґрунті, вегетативній масі та насінні розторопші плямистої визначали атомно-абсорбційним методом. Коефіцієнт накопичення ( $K_{\text{нак.}}$ ) визначали за формулою:

$$(K_{\text{нак.}}) = \frac{\text{Концентрація важких металів у продукті}}{\text{Концентрація важких металів у ґрунті}}$$

Для досліджень було взято внесений до Державного Реєстру сортів, придатних до поширення в Україні сорт розторопші плямистої Бойківчанка [12].

**Результати досліджень та їх обговорення.** Аналіз інтенсивності винесення важких металів з ґрунту без їх удобрення за вирощування розторопші плямистої (табл. 1) показав, що даний показник по свинцю був у межах 262 г/га, кадмію – 31,2 г/га та цинку – 929,7 г/га.

Удобрення ґрунтів аміачною селітрою, суперфосфатом простим, калієм хлористим та сумішшю NPK добрив сприяло підвищенню винесення з них розторопшою плямистою свинцю у 2,14 раза, 54,3%, 52,2% та 87,5%, кадмію у 3,5 раза, 41,9%, 71,1% та 2,2 раза та цинку у 2,8 раза, 22,7%, 20,1% та 2,6%, відповідно, в порівнянні з контролем (без добрив).

Таблиця 1

**Винесення важких металів з вегетативною масою та насінням розторопші плямистої за удобрення ґрунтів мінеральними добривами, г/га**

| Варіант удобрення     | Кількість внесеного добрива, кг/га у.д.р. | Свинець | Кадмій | Цинк   |
|-----------------------|---|---------|--------|--------|
| Контроль (без добрив) | -   | 261,9   | 31,2   | 929,7  |
| Аміачна селітра       | 60  | 560,7   | 111,5  | 2598   |
| Суперфосфат простий   | 60  | 404,2   | 44,3   | 1141   |
| Калій хлористий       | 60  | 398,7   | 53,4   | 1117   |
| Суміш NPK             | 60/60/60                                  | 491,2   | 70,8   | 2421,7 |

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Найвища інтенсивність винесення важких металів при вирощуванні розторопші плямистої за удобрення ґрунтів мінеральними добривами спостерігалась при використанні аміачної селітри. Зокрема, інтенсивність винесення свинцю, кадмію, цинку розторопшою плямистою була вища за удобрення ґрунтів аміачною селітрою на 38,7%, 2,51 раза і 2,27 раза на 40,6%,

2,08 раза та 2,32 раза і на 14,1%, 1,57 раза та 1,07 раза відповідно, порівняно з суперфосфатом простим, калієм хлористим та сумішшю NPK добрив.

Співвідношення інтенсивності виношення з вегетативною масою і насінням розторопші плямистої важких металів за удобрення ґрунтів мінеральними добривами складало 99,5 і 0,5 по свинцю, 99,3% – 99,6% і 0,4% – 0,5% по кадмію та 92,3% – 98,0% і 2,0% – 7,7% по цинку.

Аналіз інтенсивності виношення важких металів з ґрунту без їх удобрення за вирощування розторопші плямистої (табл. 2) показав, що даний показник по свинцю становив 251,3 г/га, кадмію – 34,1 г/га та цинку – 1546,8 г/га. Встановлено, що за вирощування розторопші плямистої виноситься більше свинцю, кадмію та цинку з ґрунту за його удобрення перегноєм на 66,1%, 58,0%, 2,03%; дефекатом – на 42%, 31,3%, 24%; сидератом – на 3,9%, 3,2%, 13,6% відповідно.

Таблиця 2

**Виношення важких металів з вегетативною масою та насінням розторопші плямистої за удобрення ґрунтів органічними добривами, г/га**

| Варіант удобрення     | Свинець | Кадмій | Цинк   |
|-----------------------|---------|--------|--------|
| Контроль (без добрив) | 251,3   | 34,1   | 1546,8 |
| Перегній, 20 т/га     | 402,5   | 53,9   | 3150,9 |
| Дефекат, 6 т/га       | 356,8   | 44,8   | 1918,7 |
| Сидерат               | 261,2   | 35,2   | 1757,2 |

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

У ході досліджень виявлено, що найвища інтенсивність зниження важких металів спостерігалась за удобрення ґрунтів перегноєм. Так, інтенсивність виношення розторопшою плямистою свинцю, кадмію, цинку та міді з ґрунту за удобрення його перегноєм була вища, порівняно з дефекатом на 12,8%, 20,3%, 64,2% та із сидератом на 54,1%, 53,1% та 79,3% відповідно.

Співвідношення інтенсивності виношення з вегетативною масою і насінням розторопші плямистої важких металів за удобрення ґрунтів органічними добривами складало 99,4% – 99,5% і 0,5% – 0,6% по свинцю, 99,3% – 99,4% і 0,4% – 0,6% по кадмію та 97,8% – 98,3% і 1,7% – 2,2% по цинку.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** В результаті проведених досліджень встановлено, що удобрення сірих лісових ґрунтів аміачною селітрою (60 кг/га), суперфосфатом простим (60 кг/га), калієм хлористим (60 кг/га) та сумішшю NPK добрив (60 кг/га, 60 кг/га і 60 кг/га) сприяє підвищенню виношення з вегетативною масою та насінням розторопші плямистої свинцю у 2,14 раза, 54,3%, 52,2% та 87,5%, кадмію – у 3,5 раза, 41,9%, 71,1% та 2,2 раза, цинку – у 2,8 раза, 22,7%, 20,1% і 2,6% відповідно.

За удобрення ґрунтів перегноєм, дефекатом та зеленим добривом (сидерат) спостерігалось підвищення виношення з ґрунту розторопшою плямистою свинцю на 60,1%, 42% та 3,9%, кадмію – на 58,0%, 31,3% та 3,2% і цинку – у 2,03 раза, 24% та 13,6% відповідно.

### Список використаної літератури

1. URL: [http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT\\_ID=7434](http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=7434).
2. Dursun S., Symochko L., Mankolli H. Bioremediation of heavy metals from soil: an overview of principles and criteria of using. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 3. 6-12. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2020.211521>.
3. Herlina L., Widianarko B., Purnaweni H., Sudarno S., Sunoko H. Phytoremediation of Lead Contaminated Soil Using Croton (*Cordiaecumvariegatum*) Plants. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. 21 (5): 107-113. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/122238>.
4. Господаренко Г.М. Агрохімія. Київ: Сік груп Україна. 2018, 560 с.
5. Корчагіна І. Мідь. Значення та застосування у землеробстві. *Агроексперт*. URL: <https://agroexpert.ua/mid-znacenna-ta-zastosuvanna-uzemlerobstvi/>.
6. Chorna V.I., Voroshylova N.V., Syrovatko V.A. Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8(1). P. 910-917. DOI: 10.15421/2018\_293.
7. Єгорова Т.М., Сапсай Т.П. Особливості формування дисбалансу цинку у біогеохімічних ланцюгах агроландшафтів України. *Таврійський науковий вісник*. 2016. Вип. 96. С. 197-204.
8. Мислива Т.М. Свинець і кадмій у ґрунтах агроландшафтів Житомирського Полісся. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2013. Вип. 3. С. 43-50.
9. Брайнінгер О.І. Особливості транслокації та акумуляції важких металів у системі "ґрунт–рослина–сільськогосподарська продукція". *Таврійський науковий вісник*. 2022. Вип. 123. С. 225-231. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.31>.
10. Razanov S.F., Tkachuk O.P., Razanova A.M., Bakhmat M.I., Bakhmat O.M. Intensity of heavy metal accumulation in plants of *Silybum marianum* L. in conditions of field rotation. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. 10(2). P. 131-136. DOI: 10.15421/2020\_75.
11. Вдовенко С.А., Гетман Н.Я., Дідур І.М. Інтенсивність накопичення розторопшею плямистою свинцю та кадмію на різних ґрунтах. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 15-21. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-167-2-15-21>.
12. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік. К., 2021. 523 с.

### Список використаної літератури у транслітерації / References

1. URL: [http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT\\_ID=7434](http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=7434). [in Ukrainian].
2. Dursun S., Symochko L., Mankolli H. (2020). Bioremediation of heavy metals from soil: an overview of principles and criteria of using. *Agroekologichnyj zhurnal – Agroecological journal*. 3. 6-12. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2020.211521>. [in Ukrainian].

3. Herlina L., Widianarko B., Purnaweni H., Sudarno S., Sunoko H. (2020). Phytoremediation of Lead Contaminated Soil Using Croton (*Cordiaecumvariegatum*) Plants. *Journal of Ecological Engineering*. 21(5):107–113. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/122238>. [in English].
4. Hospodarenko H.M. (2018). Ahrokhimiia [Agrochemistry]. Kyiv: Sik hrup Ukraina. [in Ukrainian].
5. Korchahina I. (2017). Mid. Znachennia ta zastosuvannia u zemlerobstvi [*Copper. Significance and application in agriculture*]. Ahroekspert – Agroexpert URL: <https://agroexpert.ua/mid-znacenna-ta-zastosuvanna-u-zemlerobstvi/> [in Ukrainian].
6. Chorna V.I., Voroshylova N.V., Syrovatko V.A. (2018). Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production. *Ukrainian Journal of Ecology*. 8(1): 910-917. [in Ukrainian].
7. Jegorova T.M., Sapsaj T.P. (2016). Osoblyvosti formuvannja dysbalansu cynku u biogeochemichnyh lancjugah agrolandshaftiv Ukrai'ny [*Characteristics of zinc imbalance formation in biogeochemical chains of agrolandscapes of Ukraine*]. *Tavrijs'kyj naukovyj visnyk – Taurian Scientific Bulletin*. Issue. 96. 197-204. [in Ukrainian].
8. Myslyva T.M. (2013). Svyneć i kadmij u gruntah agrolandshaftiv Zhytomyrs'kogo Polissja [*Lead and cadmium in soils of agrolandscapes of Zhytomyr Polissya*]. *Visnyk Sums'kogo nacional'nogo agrarnogo universytetu – Bulletin of the Sumy National Agrarian University*. Issue. 3. 43-50. [in Ukrainian].
9. Brajninger O.I. (2022). Osoblyvosti translokacii' ta akumuljacii' vazhkyh metaliv u systemi "g'runt–roslyna–sil's'kogospodars'ka produkcija" [*Peculiarity of translocation and accumulation of heavy metals in the system 'soil – plant – agricultural products*]. *Tavrijs'kyj naukovyj visnyk – Taurian Scientific Bulletin*. Issue. 123. 225-231. [in Ukrainian].
10. Razanov S.F., Tkachuk O.P., Razanova A.M., Bakhmat M.I., Bakhmat O.M. (2020). Intensity of heavy metal accumulation in plants of *Silybum marianum* L. in conditions of field rotation. *Ukrainian Journal of Ecology*. 10 (2): 131-136. DOI: 10.15421/2020\_75. [in Ukrainian].
11. Vdovenko S.A., Getman N.Ja., Didur I.M. (2021). Intensyvniť nakopychennja roztoropsheju pljamystoju svyncju ta kadmiju na riznyh g'runtah [*The intensity of lead and cadmium accumulation of milk thistle in various soils*]. *Agrobiologija - Agrobiology*. Issue. 2. 15-21. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-167-2-15-21>. [in Ukrainian].
12. Derzhavnij reestr sortiv roslin, pridatnih dlja poshirennja v Ukraïni na 2021 rik [*State register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine for 2021*]. 523 s. [in Ukrainian].

## ANNOTATION

### **EFFICIENCY OF PHYTOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED BY HEAVY METALS BY CULTIVATION OF SPOTTED MILK THISTLE**

*In contrast to air and water environments, soils do not have the ability to quickly clean, so toxic substances that enter it from the outside can be stored for a long time. At the same time, toxicants, being included in the food chain of soil - plants - living organisms, can reach high levels and have a long duration of action. It is known that the accumulation of heavy metals in the soil occurs under the influence of emissions from industrial enterprises, during irrigation with wastewater, removal of sludge to agricultural lands after wastewater treatment, due to the application of mineral and organic fertilizers, etc. When heavy metals affect soils, there is a change in the soil environment, the occurrence of erosion processes, contamination of agricultural products, etc., which necessitates the search for productive and safe methods of their cleaning.*

*The article presents the results of a study of the effectiveness of phytoremediation of soil when growing milk thistle when it is fertilized in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe. Based on the results of the analysis of primary sources, the current problems of soil degradation, their contamination with heavy metals, and the role of phytoremediation are determined.*

*As a result of the research, certain changes in the intensity of the removal of lead, cadmium and zinc from the soil were found when it was fertilized with mineral fertilizers - ammonium nitrate (60 kg/ha), simple superphosphate (60 kg/ha), potassium chloride (60 kg/ha), NPK mixture fertilizers (60/60/60 kg/ha) and organic fertilizers - humus (20 t/ha), sugar beet lime sludge compost (6 t/ha) and green manure (mustard).*

*It was established that fertilizing gray forest soils with ammonium nitrate, simple superphosphate, potassium chloride, and a mixture of NPK fertilizers contributed to the increase of removal with vegetative mass and seeds of milk thistle: lead by 2.14 times, 54.3%, 52.2%, and 87.5 %; cadmium – 3.5 times, 41.9%, 71.1%, 2.2 times; zinc - 2.8 times, 22.7%, 20.1%, 2.6%, respectively. Fertilizing the soil with humus, sugar beet lime sludge compost, green manure increased lead removal from the soil by milk thistle by 60.1%, 42%, 3.9%; cadmium - by 58.0%, 31.3%, 3.2%, zinc - by 2.03 times, 24%, 13.6%, respectively.*

**Key words:** milk thistle, soil, mineral fertilizers, organic fertilizers, heavy metals, lead, cadmium, zinc, vegetative mass, seeds, concentration.

**Table 2. Lit. 12.**

### **Інформація про авторів**

**Снітинський Володимир Васильович** – доктор біологічних наук, професор, академік НААНУ, ректор Львівського національного університету природокористування (80381, м. Дубляни, вул. В. Великого, 1).

**Ткачук Олександр Петрович** – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3, e-mail: tkachukop@ukr.net).

**Разанова Алла Михайлівна** – старший викладач, Львівський національний університет природокористування (80381, м. Дубляни, вул. В. Великого, 1; e-mail: razanovaam@lnup.edu.ua).

**Коруняк Ольга Петрівна** – кандидат сільськогосподарських наук, декан факультету агротехнологій і природокористування, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет» (32316, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 12; e-mail: korunyak.dekan.agro@gmail.com).

**Snitynskyi Volodymyr** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAAS, Rector of Lviv National Environmental University (80381, Lviv district, Dublyany, Volodymyra Velykoho str., 1).

**Tkachuk Oleksandr** – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection of Vinnitsa National Agrarian University. (21008, Vinnitsa city, str. Sunny, 3; e-mail: tkachukop@ukr.net).

**Razanova Alla** – Senior Lecturer, Lviv National Environmental University (80381, Lviv district, Dublyany, Volodymyra Velykoho str., 1; e-mail: razanovaam@lnup.edu.ua).

**Koruniak Olga** – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of Agrotechnology and Nature Management, Higher educational institution «Podillia State University» (32316, Khmelnytskyi region, Kamianets-Podilskyi, Shevchenko Str., 12; e-mail: korunyak.dekan.agro@gmail.com).