

О. І. Корень 

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
просп. Науки, 72, м. Дніпро, Україна, 49045

**ПРОГНОЗОВАНИЙ ВПЛИВ *QUERCUS ROBUR* L., *PINUS SYLVESTRIS* L.
ТА *SALIX VIMINALIS* L. НА ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТОВИХ
ПРОФІЛЯХ РАЙОНУ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ**

У статті проаналізовано вплив деревних видів *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. та *Salix viminalis* L. на вміст важких металів у ґрунтових профілях залізорудних регіонів, з особливою увагою до Криворізького залізорудного басейну. Наголошено на актуальності проблеми забруднення ґрунтів токсичними елементами (Fe, Mn, Zn, Pb, Cd), спричиненого інтенсивною гірничодобувною діяльністю. Традиційні методи рекультивації часто є неефективними або економічно затратними, тому фіторе mediaція розглядається як перспективний екологічний підхід до відновлення деградованих земель. У межах дослідження проаналізовано рівень забруднення різних ґрунтових горизонтів під лісовими, степовими та сільськогосподарськими угрупованнями з використанням індексів забруднення, геоаккумуляції та збагачення. Результати свідчать, що агроценози зазнають найбільшого антропогенного навантаження, що проявляється у високих сумарних індексах забруднення. Розглянуто фіторе mediaційні властивості трьох деревних видів. *Quercus robur* демонструє ефективну фітостабілізацію металів у кореневій зоні та обмежену транслокацію токсичних елементів до надземних частин. *Pinus sylvestris* вирізняється здатністю до затримки металів у хвої, корі та через симбіотичні мікоризні асоціації. *Salix viminalis* характеризується швидким ростом і високим потенціалом до фітоекстракції важких металів, зокрема Cd і Zn, з поверхневих шарів ґрунту. Підкреслюється доцільність комбінованого застосування цих деревних видів для створення багаторівневої системи очищення забруднених ґрунтів, яка забезпечує як стабілізацію металів у глибших горизонтах, так і активне вилучення з верхніх шарів. Такий підхід сприяє ефективному екологічному відновленню техногенно порушених ландшафтів.

Ключові слова: фіторе mediaція, важкі метали, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Salix viminalis*, залізорудні регіони, фітостабілізація, фітоекстракція, ґрунтове забруднення, рекультивація.

О. І. Koren 

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

**PREDICTED IMPACT OF *QUERCUS ROBUR* L., *PINUS SYLVESTRIS* L.
AND *SALIX VIMINALIS* L. ON HEAVY METAL CONTENT IN SOIL
PROFILES OF AN IRON ORE MINING REGION**

The article examines the impact of tree species *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L., and *Salix viminalis* L. on the concentration of heavy metals in soil

 E-mail: sahanoren@gmail.com

DOI: 10.15421/442512

120

profiles of iron ore mining regions, with a focus on the Kryvyi Rih Basin in Ukraine. The study highlights the urgent issue of soil contamination with toxic elements (Fe, Mn, Zn, Pb, Cd) resulting from intensive mining activities. As traditional reclamation methods are often ineffective or economically unfeasible, phytoremediation is presented as a promising and environmentally friendly alternative for restoring degraded lands. The research analyzes pollution levels in various soil horizons under forest, steppe, and agricultural vegetation using pollution, geoaccumulation, and enrichment indices. Results show that agricultural lands are subject to the highest anthropogenic pressure, reflected in elevated cumulative pollution values. The phytoremediation potential of the studied tree species is discussed. *Quercus robur* demonstrates effective phytostabilization of metals in the root zone and limited translocation to aboveground parts. *Pinus sylvestris* shows the ability to retain metals in needles, bark, and through mycorrhizal associations. *Salix viminalis* is characterized by fast growth and a high capacity for phytoextraction of metals, particularly Cd and Zn, from surface soil layers. The emphasize the benefits of combining these species to create a multi-level remediation system, which ensures both the stabilization of metals in deeper soil horizons and active removal from upper layers. This integrated approach offers an effective ecological solution for the restoration of industrially degraded landscapes.

Keywords: phytoremediation, heavy metals, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Salix viminalis*, iron ore regions, phytostabilization, phytoextraction, soil contamination, reclamation.

Вступ

Забруднення ґрунтів важкими металами в районах видобутку залізної руди є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності. Гірничодобувна діяльність, зокрема відкрита розробка родовищ, призводить до значних порушень ґрунтового покриву, зміни його фізико-хімічних властивостей та накопичення токсичних елементів, таких як свинець (Pb), кадмій (Cd), цинк (Zn) та залізо (Fe) [4]. Ці метали мають високу стійкість у довкіллі, здатні накопичуватися в ґрунтах та транслюватися в рослини, що становить загрозу для екосистем і здоров'я людей.

Традиційні методи рекультивації (фізичне видалення, хімічна стабілізація) часто є енергоємними та економічно недоцільними. У цьому контексті фіторемедіація – технологія очищення довкілля за допомогою рослин – набуває все більшого значення як екологічно безпечний та ефективний підхід. Деревні види, такі як *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. та *Salix viminalis* L., є перспективними для фітостабілізації та фітоекстракції важких металів завдяки їхній глибокій кореневій системі, довгому життєвому циклу та здатності акумулювати важкі метали в органах (коренях, листі, стовбурах).

Метою цієї оглядової статті є аналіз сучасних наукових даних щодо впливу *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. та *Salix viminalis* L. на накопичення важких металів у ґрунтових профілях залізорудних регіонів.

Актуальність дослідження полягає в необхідності розробки науково обґрунтованих підходів до відновлення деградованих земель, особливо в промислових регіонах України, таких як Криворізький залізорудний басейн. Результати аналізу можуть бути корисними для екологів, ґрунтознавців та спеціалістів із рекультивації, які займаються проблемою зменшення антропогенного навантаження на довкілля.

1. Джерела та розподіл важких металів у залізорудних регіонах

Важкі метали в залізорудних регіонах надходять у навколишнє середовище як з природними, так і з антропогенними процесами. До природних джерел належать геологічні формації, що містять рудні поклади, які внаслідок вивітрювання поступово вивільняють метали у довкілля. Антропогенний вплив пов'язаний з гірничодобувною діяльністю, зокрема з видобутком руди, утворенням відвалів породи та дренажними водами, які містять підвищені концентрації металів. Ці джерела значно посилюють міграцію токсичних елементів у екосистемах.

Міграція важких металів у ґрунтових профілях залежить від низки факторів, серед яких ключову роль відіграють кислотність середовища (рН), уміст органічної речовини та гранулометричний склад ґрунтів. В умовах низького рН метали, такі як кадмій, цинк і свинець, стають більш рухливими та легше проникають у глибші горизонти ґрунту або потрапляють у ґрунтові води. Органічна речовина може як зв'язувати метали, зменшуючи їх доступність, так і сприяти їх міграції через утворення комплексних сполук. Гранулометричний склад, зокрема високий уміст глинистих частинок, сприяє затримці металів у верхніх шарах ґрунту за рахунок адсорбції [7].

Прикладами територій із значним забрудненням важкими металами є Криворізький залізорудний басейн в Україні. У цьому регіоні інтенсивний видобуток залізної руди призвів до накопичення токсичних елементів у ґрунтах та водних об'єктах. Наприклад, спостерігаються підвищені концентрації заліза, марганцю, свинцю та кадмію [1], що негативно впливає на місцеві екосистеми та здоров'я населення. Подібні тенденції характерні й для інших промислових зон, де гірничодобувна діяльність здійснюється без належного екологічного контролю.

У процесі дослідження проведено оцінку ступеня забруднення ґрунтів трьома пріоритетними мікроелементами – залізом, марганцем і цинком – у різних ґрунтових горизонтах (Ah, ABk, Bk, BSk) під різними рослинними угрупованнями: лісовими, степовими та сільськогосподарськими. Для цього було використано індекси забруднення, геоаккумуляції та збагачення, які дозволяють визначити не лише рівень накопичення металів, але й джерело їхнього походження (природне чи антропогенне).

Індивідуальні індекси забруднення залізом, наведені в табл. 1, показали загалом вищі значення в агроценозах порівняно з природними угрупованнями, особливо у верхніх горизонтах ґрунту. Це свідчить про потенційний антропогенний внесок цього елемента.

Таблиця 1

Індивідуальні коефіцієнти забруднення ґрунту залізом
за різних рослинних угруповань

Ґрунтовий горизонт	Рослинне угруповання	Коефіцієнт забруднення		Коефіцієнт геоаккумуляції		Коефіцієнт збагачення	
		I	II	I	II	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8
Ah	Ліс	1,31	1,61	-0,19	0,1	1,01	1,61
	Степ	2,22	2,68	0,57	0,84	2,22	2,68
	Сільськогосподарське	3,39	3,83	1,18	1,35	3,39	3,83

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
ABk	Ліс	1,7	1,87	-0,13	0,12	1,27	1,87
	Степ	3,02	3,55	0,52	0,76	3,02	3,55
	Сільськогосподарське	2,5	2,66	0,63	0,66	2,5	2,66
Bk	Ліс	1,49	1,66	-0,26	-0,11	1,06	1,66
	Степ	0,75	0,76	-0,51	-0,49	0,75	0,76
	Сільськогосподарське	1,36	1,87	0,38	0,51	1,36	1,87
BCk	Ліс	1,38	1,57	-0,21	-0,03	1,28	1,57
	Степ	0,55	0,56	-0,55	-0,53	0,56	0,56
	Сільськогосподарське	1,06	0,57	-0,53	-0,51	1,01	0,57

У табл. 2 подано індекси забруднення марганцем. Виявлено, що його накопичення найбільше проявляється в сільськогосподарських ґрунтах, особливо в горизонтах Ah і ABk. Значення коефіцієнтів збагачення перевищують 1,5, що вказує на помірно до значного впливу зовнішніх джерел.

Таблиця 2

**Індивідуальні коефіцієнти забруднення ґрунту марганцем
за різних рослинних угруповань**

Ґрунтовий горизонт	Рослинне угруповання	Коефіцієнт забруднення		Коефіцієнт геоаккумуляції		Коефіцієнт збагачення	
		I	II	I	II	I	II
Ah	Ліс	1,63	1,84	0,12	0,29	1,24	1,14
	Степ	2,13	2,67	0,58	0,96	1,93	1,92
	Сільськогосподарське	3,21	3,67	1,1	1,29	1,29	0,96
ABk	Ліс	2,13	2,36	0,28	0,44	1,42	1,39
	Степ	2,59	2,92	0,65	0,93	1,74	1,82
	Сільськогосподарське	2,92	3,38	0,82	1,05	1,95	2,01
Bk	Ліс	1,92	1,9	0,1	0,09	1,18	1,14
	Степ	0,79	0,81	-0,48	-0,49	0,9	0,9
	Сільськогосподарське	1,44	1,54	1,13	1,24	1,24	1,27
BCk	Ліс	1,46	1,54	1,13	1,13	1,24	1,22
	Степ	0,46	0,47	-0,54	-0,53	1,01	1,02
	Сільськогосподарське	1,32	1,63	0,33	0,3	1,3	1,79

Значення для цинку систематизовано в табл. 3. Аналіз засвідчив стабільно високі індекси забруднення цим елементом у сільськогосподарських угіддях, з максимальними показниками у верхніх горизонтах. Це може бути наслідком інтенсивного застосування добрив або пестицидів, що містять цинк.

Таблиця 3

Індивідуальні коефіцієнти забруднення ґрунту цинком за різних рослинних угруповань							
Ґрунтовий горизонт	Рослинне угруповання	Коефіцієнт забруднення		Коефіцієнт геоаккумуляції		Коефіцієнт збагачення	
		I	II	I	II	I	II
Ah	Ліс	1,86	1,93	0,31	0,36	1,42	1,2
	Степ	1,91	2,25	0,25	0,35	1,25	1,29
	Сільськогосподарське	3,1	3,59	1,05	1,3	0,88	0,89
ABk	Ліс	1,94	2,05	0,33	0,37	1,43	1,49
	Степ	2,77	3,15	0,88	1,12	1,9	1,99
	Сільськогосподарське	2,83	3,24	1,23	1,43	1,71	1,77
Bk	Ліс	1,71	1,79	0,26	0,3	1,3	1,31
	Степ	1,13	1,14	-0,41	-0,39	1,09	1,07
	Сільськогосподарське	2,57	2,86	0,86	1,05	1,74	1,88
BСk	Ліс	2,67	2,64	1,04	1	1,82	1,76
	Степ	1,04	1,02	-0,53	-0,52	1,02	1,06
	Сільськогосподарське	1,53	1,54	0,04	0,04	1,47	1,46

Для інтегральної оцінки було розраховано зведені індекси, наведені в табл. 4, які враховують сумарне забруднення трьома металами. Результати чітко свідчать про підвищене техногенне навантаження на ґрунти під сільськогосподарськими угіддями, де сумарний індекс забруднення у деяких випадках перевищує 9, що є ознакою сильного антропогенного впливу.

Таблиця 4

Інтегральні коефіцієнти забруднення ґрунту залізом, марганцем і цинком за різних рослинних угруповань							
Ґрунтовий горизонт	Рослинне угруповання	Коефіцієнт забруднення		Коефіцієнт геоаккумуляції		Коефіцієнт збагачення	
		I	II	I	II	I	II
Ah	Ліс	1,32	1,48	1,58	1,79	1,963	2,364
	Степ	2,13	2,67	2,52	3,02	4,465	5,605
	Сільськогосподарське	2,63	3,27	3,32	3,85	7,703	8,545
ABk	Ліс	1,91	2,12	2,13	2,37	3,772	4,314
	Степ	2,59	2,92	2,8	3,23	8,384	9,62
	Сільськогосподарське	2,62	3	3,03	3,34	8,253	9,28
Bk	Ліс	1,66	1,79	2	2,11	5,11	5,45
	Степ	0,91	0,95	0,87	0,89	2,65	2,84
	Сільськогосподарське	2,16	2,39	2,44	2,68	6,168	6,82
BСk	Ліс	1,94	2,01	2,13	2,13	5,48	5,31
	Степ	0,65	0,65	0,65	0,63	1,66	1,66
	Сільськогосподарське	1,9	2	2,17	2,3	4,8	5,04

2. Механізми взаємодії рослин із важкими металами

Рослини використовують різні стратегії для взаємодії з важкими металами, що дозволяє їм виживати в забруднених умовах та сприяє очищенню ґрунтів. Ці механізми можна умовно поділити на фітостабілізацію та фітоекстракцію, кожен з яких має свої особливості та переваги.

Фітостабілізація передбачає іммобілізацію металів у ґрунті за допомогою корневих систем рослин. Корені виділяють органічні екsudати [3], такі як карбоксилатні йони та фенольні сполуки, які зв'язують метали та зменшують їх рухливість. Важливу роль у цьому процесі відіграє мікориза – симбіотична асоціація коренів з грибами, яка розширює зону поглинання елементів і сприяє їхньому перетворенню в менш токсичні форми. Наприклад, мікоризні гриби можуть перетворювати кадмій у стабільні комплекси, обмежуючи його надходження в рослину [2].

Фітоекстракція ґрунтується на здатності рослин поглинати метали з ґрунту та накопичувати їх у своїх тканинах [3]. Ефективність цього процесу залежить від виду рослини та специфіки розподілу металів у її органах. У багатьох видів метали концентруються переважно в коренях, що характерно для свинцю та хрому, тоді як кадмій, нікель та цинк активніше транспортуватимуться до надземних частин. Порівняльний аналіз накопичення металів у різних видах дерев демонструє, що кора та листя часто містять вищі концентрації токсичних елементів порівняно з деревиною, що важливо враховувати при плануванні рекультиваційних заходів.

3. Фіторемедіаційний потенціал *Quercus robur*, *Pinus sylvestris* та *Salix viminalis*

Серед рослин, які особливо перспективні для рекультивації забруднених територій, варто виділити кілька ключових видів. *Quercus robur* проявляє помітну здатність до накопичення цинку, купруму, кадмію, свинцю, хрому, нікелю та кобальту переважно в листі, пагонах і гілках, що обмежує їх міграцію в довкілля [13]. Потенціал *Quercus robur* полягає переважно у фітостабілізації важких металів та токсичних елементів у ґрунтах, зокрема Cd, Pb, Zn, As та інших. Дослідження [1, 10] показують, що дуб має здатність накопичувати метали (As, Hg, In, Mn, Mo, Pb, Ti, Zn) у кореневій системі та надземних органах. Корені дуба, особливо тонкі, ефективно утримують Cd, обмежуючи його транслокацію до листя (коефіцієнти транслокації нижче 0,03), що робить його придатним для фітостабілізації забруднених ґрунтів. Навіть при високих концентраціях Cd

(до 7 г/кг у коренях) дуб демонструє відносну толерантність, зберігаючи фізіологічну активність (незначні зміни флуоресценції хлорофілу). Однак його ремедіаційна ефективність може бути нижчою за інші види, такі як *Tilia cordata*, яка швидше росте та активніше накопичує елементи. Таким чином, дуб звичайний може бути корисним для довготривалого зменшення мобільності металів у забруднених екосистемах, особливо в умовах змін рН ґрунту (2,4–8,4), але їх слід використовувати разом з іншими видами для підвищення ефективності ремедіації.

Pinus sylvestris демонструє значний ремедіаційний потенціал щодо важких металів, що підтверджується дослідженнями її мікоризних асоціацій, накопичувальної здатності хвої та інших тканин. Мікоризи сосни, утворені суїлоїдними грибами, виявляють здатність до біофільтрації свинцю (Pb) та

цинку (Zn), концентруючи їх у грибному мантії, що свідчить про їх роль в іммобілізації металів у забруднених середовищах [18]. На відміну від них мікоризи, утворені *Hebeloma* та *Inocybe*, частіше накопичують мідь (Cu) та кадмій (Cd) у позакореновому міцелії, що вказує на різні механізми детоксикації залежно від виду гриба.

Хвоя сосни здатна накопичувати значні кількості важких металів, таких як Cd, Pb, Zn та Fe, особливо в забруднених районах, причому їх концентрація зростає з віком хвої [12]. Це супроводжується підвищенням антиоксидантної активності, зокрема збільшенням умісту білків, тіолів та глутатіону, що свідчить про адаптаційні механізми рослини до окисного стресу.

Дослідження в урбанізованих середовищах підтверджують, що сосна ефективно накопичує важкі метали, особливо в хвої та гілках, що робить її корисним біоіндикатором [9]. Найвищі концентрації Zn і Cu спостерігаються у хвої, тоді як Mn і Ni також активно накопичуються в корі та коренях.

Особливу увагу приділяють *Salix viminalis*, яка відрізняється швидким ростом і здатністю до інтенсивного поглинання металів. Дослідження [17] показали, що *S. viminalis* має високий потенціал для накопичення Cu, Fe, Mn та Zn у коренях, а також Cd та Zn у листі, про що свідчать високі значення фактора біоконцентрації (BCF) та фактора транслокації (TF). Особливо ефективним було накопичення Cd, Mn, Sr та Zn, які активно транспортувалися до надземних частин рослини. Однак у сильнозабруднених зонах стан дерев погіршувався через високі концентрації Al, Ca, K, Mg, Ni, Sr та Zn, що призводило до хвороб листя та його пошкодження шкідниками.

У дослідженні Jama-Rodzenska et al. [11] підтверджується ефективність *S. viminalis* для фітоекстракції Ni та Pb, особливо при вирощуванні на ґрунтах, забруднених міськими стічними осадами. Найбільші концентрації металів виявлялися в листі, менші – у корі, а найнижчі – у деревині. Генетичні особливості клонів та дози осаду впливали на накопичення металів, що свідчить про можливість селекції найбільш ефективних клонів для ремедіації.

Вчені [14] порівнювали різні види верби та виявили, що *S. viminalis* (зокрема, клони «Christina» та «Loden») демонструє високу ефективність у накопиченні Cd та Zn. Додавання хелатоутворювача EDDS підвищило екстракцію Cu, Cd та Zn у деяких ґрунтах, що свідчить про потенціал хімічно посиленої фіторемедіації.

Ці види по-різному реагують на забруднення та мають різний потенціал для застосування у фіторемедіації. Наприклад, верба може швидко зменшити концентрацію металів у поверхневих шарах ґрунту, тоді як дуб і сосна більш ефективні для довготривалої стабілізації забруднень. Комбіноване використання цих видів дозволяє створити багаторівневу систему очищення, що враховує різні властивості металів та умови їх міграції в ґрунтового профілі.

Висновки

Дослідження потенціалу *Quercus robur L.*, *Pinus sylvestris L.* та *Salix viminalis L.* у контексті впливу на вміст важких металів у ґрунтах залізородних регіонів підтверджує їхню ключову роль у фіторемедіаційних процесах. Кожен із цих видів демонструє унікальні механізми взаємодії з токсичними елементами, що дозволяє ефективно використовувати їх для відновлення деградованих земель. Комбіноване застосування цих видів може забезпечити

комплексний підхід до рекультивації, поєднуючи швидке очищення верхніх ґрунтових горизонтів з глибокою стабілізацією металів кореневими системами.

Бібліографічні посилання

1. *Антонік В. І., Петрухін А. В., Антонік І. П.* Вплив відвалів та хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя на стан екології прилеглих територій. Вісник Криворізького національного університету, 2017. № 44. С. 161–166.
2. *Бубнікович А. В., Шевель Д. О.* Механізм знешкодження кадмію в рослинах. Матеріали І-ї міжн. науков.-практичної інтернет-конф. студ. та молод. науковців 09-11 листопада 2020 р. С. 172–173.
3. *Дьяконов О. В., Пиріжок В. С.* Технології очищення ґрунтів від важких металів. Матеріали І-ї міжн. науков.-практичної інтернет-конф. студ. та молод. науковців 09-11 листопада, 2020 р. С. 175–177.
4. [*Савоско В., Лихолат Ю., Домишина К., Лихолат Т.* Екологічна та геологічна зумовленість поширення дерев і чагарників на девастованих землях Криворіжжя. Journal of Geology, Geography and Geoecology, 2018. № 27 \(1\). С. 116–130.](#)
5. [*Савосько В. М., Товстоляк Н. В.* Екологічні умови територій садів та парків колишніх залізних рудників \(Криворізький басейн, Україна\). Ukrainian Journal of Ecology, 2017. № 7 \(4\). С. 12–17.](#)
6. *Харитонов В. М., Харитонов Д. В.* Систематика полютантів ґрунту поблизу Покровського гранітного кар'єру. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. Том 25. № 2. 2023. С. 81–96.
7. *Цицюра Я. Г., Шкатула Ю. М., Забарна Т. А., Пелех Л. В.* Інноваційні підходи до фіторе mediaції та фіторекультивації у сучасних системах землеробства. Монографія / Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.
8. [*Budzyńska S., Rudnicki K., Budka A., Niedzielski P., Mleczek M.* Dendroremediation of soil contaminated by mining sludge: a three-year study on the potential of *Tilia cordata* and *Quercus robur* in remediation of multi-element pollution. Sci. Total Environ., 2024. № 994.](#)
9. [*Comaklı E., Bingöl M. S.* Heavy metal accumulation of urban Scots pine \(*Pinus sylvestris* L.\) plantation. Environmental Monitoring and Assessment, 2021. № 193 \(192\).](#)
10. [*Domínguez M. T., Madrid F., Marañón T., Murillo J. M.* Cadmium availability in soil and retention in oak roots: Potential for phytostabilization. Chemosphere, 2009. №76 \(4\). P. 480–486.](#)
11. *Jama-Rodzeńska A., Nowak W.* Nickel and lead uptake by willows (*Salix viminalis* L.). Polish Journal of Agronomy. 2012. № 11. P. 29–33.
12. [*Kandziora-Ciupa M.* Accumulation of heavy metals and antioxidant responses in *Pinus sylvestris* L. needles in polluted and non-polluted sites / M. Kandziora-Ciupa, R. Ciepał, A. Nadgórska-Socha \[et al.\]. Ecotoxicology, 2016. № 25. P. 970–981.](#)
13. *Kovacs H, Bathory C., Mentés D.* Distribution of Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Ni, Co in *Quercus robur* and *Populus tremula* has grown on heavy metal contaminated brownfield land. International Journal of Energy Water Food Nexus, 2019. № 1 (1). P. 42–47.

14. [Meers E., Vandecasteele B., Ruttens A., Vangronsveld J., Tack F. M. G. Potential of five willow species \(Salix spp.\) for phytoextraction of heavy metals. Environmental and Experimental Botany. 2007. № 60 \(1\). P. 57–68.](#)
15. *Savosko V., Bielyk Yu., Lykholat Yu., Heilmeyer H., Grygoryuk I., Khromykh N., Lykholat, T.* The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). Journ. Geol. Geograph. Geoecology, 2021. № 30 (1), P. 153–164.
16. *Savosko V., Komarova I., Lykholat Y., Yevtushenko E., Lykholat, T.* Predictive model of heavy metals inputs to soil at Kryvyi Rih District and its use in the training for specialists in the field of Biology, 2021. Phys.: Conf. Ser. 1840 012011.
17. [Tózsér D., Harangi S., Baranyai E. et al. Phytoextraction with Salix viminalis in a moderately to strongly contaminated area. Environmental Science and Pollution Research. 2018. № 25. P. 3275–3290.](#)
18. [Turnau K. Heavy metal binding properties of Pinus sylvestris mycorrhizas from industrial wastes / K. Turnau, P. Mleczko, D. Blaudez, M. Chalot, B. Botton. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 2002. № 71 \(3\).](#)

Надійшла до редколегії 11.11.2025 р.