



БІОЛОГІЯ

УДК 504.5:631.4:630*27(477.51)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.1>

ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ РОСЛИН У СКЛАДІ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОСМУГ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Є. В. Асмаковський¹, О. І. Яковенко²

Повномасштабні бойові дії на території України спричинили формування нових осередків техногенного забруднення та посилили міграцію важких металів у ґрунтах. Найбільші їх концентрації відзначаються вздовж транспортних коридорів та прилеглих до них полезахисних лісосмуг. Відновлення ґрунтів у післявоєнний період у межах процесів ремедіації потребуватиме, зокрема, науково-обґрунтованого добору деревних видів, здатних зменшувати біодоступність і мобільність токсичних елементів, підтримувати ґрунтоутворні процеси та забезпечувати стабільність суміжних із лісосмугами агроландшафтів. Мета роботи – узагальнити видовий склад деревних видів, зафіксованих у складі деревостанів полезахисних лісосмуг Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся, оцінити толерантність видів до важких металів, розкрити особливості їх акумуляції та основні механізми фіторемедіації. Дослідження має оглядово-аналітичний характер і ґрунтується на результатах польових досліджень 2019–2025 рр. у межах Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся. Оцінювання видів здатних до фіторемедіації виконано шляхом порівняльного узагальнення наукових публікацій іноземних та вітчизняних авторів. Встановлено, що у складі деревного ярусу полезахисних лісосмуг регіону досліджень присутні: *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., види роду *Acer* L. та *Ulmus* L., *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Betula pendula* Roth, види роду *Populus* L. та *Salix* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Pinus sylvestris* L., локально – *Carpinus betulus* L. і поодинокі *Picea abies* (L.) H.Karst. та представники родини *Rosaceae*. Встановлено, що для більшості розглянутих видів домінуючим є механізм фітостабілізації із локалізацією важких металів у коренях і корі, тоді як види роду *Salix* і *Populus* демонструють підвищений потенціал до фітоекстракції за рахунок швидкого набору біомаси та підвищеної здатності до транслокації забруднювачів у надземну біомасу. Встановлено здатність *Alnus glutinosa*, *Robinia pseudoacacia* до фітостимуляції за рахунок симбіотичних зв'язків з азот-фіксувальними мікроорганізмами. Встановлено, що найбільший вплив на відновлення ґрунтів

¹ доктор філософії, науковий співробітник лабораторії екології ґрунтових мікроорганізмів (Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, м. Чернігів)

e-mail: zhekasnikovsk1y@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7134-0545

² кандидат біологічних наук,

доцент кафедри екології, географії та природокористування

(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів);

науковий співробітник сектору палеогеографії

(Інститут географії НАН України, м. Київ)

e-mail: ajakov2@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1417-6042

Лівобережного Полісся будуть становити змішані насадження лісосмуг регіону, які поєднують у собі механізми фітостабілізації, фітоекстракції та фітостимуляції.

Ключові слова: фіторе mediaція, деревні рослини, важкі метали, полезахисні лісосмуги, Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся.

PHYTOREMEDIATION PROPERTIES OF WOODY PLANT SPECIES IN THE FIELD SHELTERBELTS OF CHERNIHIV REGION

Y. V. Asmakovskyi, O. I. Yakovenko

Full-scale hostilities in Ukraine have led to the formation of new foci of technogenic pollution and increased the migration of heavy metals in soils. Their highest concentrations are observed along transport corridors and adjacent forest protection strips. Soil restoration in the post-war period within the framework of remediation processes will require, among other things, a scientifically based selection of tree species capable of reducing the bioavailability and mobility of toxic elements, supporting soil-forming processes and ensuring the stability of agricultural landscapes adjacent to forest protection strips. The purpose of the work is to summarize the species composition of tree species recorded in the stands of forest protection strips of Chernihiv and Novhorod-Siversk Polissia, to assess the tolerance of species to heavy metals, to reveal the features of their accumulation and the main mechanisms of phytoremediation. The study is of a survey-analytical nature and is based on the results of field research in 2019–2025 within the Chernihiv and Novhorod-Siversk Polissia. The assessment of species capable of phytoremediation was carried out by means of a comparative generalization of scientific publications by foreign and domestic authors. It was established that the tree layer of the shelterbelts of the study region contains: *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., species of the genus *Acer* L. and *Ulmus* L., *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Betula pendula* Roth, species of the genus *Populus* L. and *Salix* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Pinus sylvestris* L., locally – *Carpinus betulus* L. and occasionally *Picea abies* (L.) H.Karst. and representatives of the Rosaceae family. It was found that for most of the species considered, the dominant mechanism is phytostabilization with the localization of heavy metals in the roots and bark, while species of the genus *Salix* and *Populus* demonstrate an increased potential for phytoextraction due to the rapid accumulation of biomass and increased ability to translocate pollutants into aboveground biomass. The ability of *Alnus glutinosa*, *Robinia pseudoacacia* to phytostimulation due to symbiotic relationships with nitrogen-fixing bacteria was established. It was found that the greatest impact on the restoration of soils in Left-Bank Polissia will be mixed stands of forest belts in the region, which combine the mechanisms of phytostabilization, phytoextraction and phytostimulation.

Key words: phytoremediation, woody plants, heavy metals, forest protection strips, Chernihiv and Novhorod-Siversk Polissia.

Вступ

Повномасштабні бойові дії на території України сформували новий комплекс екологічних викликів, серед яких особливе місце посідає масштабне забруднення довкілля важкими металами. Найбільш інтенсивне техногенне навантаження спостерігається вздовж стратегічно важливих транспортних коридорів – автомобільних шляхів, залізниць та прилеглих до них полезахисних лісосмуг, що зазнали забруднення та пошкодження різного ступеня. Унаслідок застосування озброєння різного типу, вибухів, пожеж, знищення військової техніки та руйнування інфраструктури відбувається надходження до ґрунтів токсичних сполук і хімічних елементів, зокрема важких металів та продуктів згоряння паливно-мастильних матеріалів (Конішук та ін., 2025; WWF Україна ..., 2025).

Додатковими джерелами забруднення є місця дислокації військових підрозділів, склади зберігання військового майна, розміщення військової техніки, військова логістика, а також пошкодження промислових об'єктів та сховищ відходів. Частина території залишається замінованою, що ускладнює проведення екологічного моніторингу та відновлювальних робіт. Найбільшої трансформації та забруднення в регіоні зазнали лісосмуги, які наближені до зони бойових дій.

У післявоєнний період відновлення земельних ресурсів, забруднених унаслідок воєнних дій, стане одним із пріоритетних напрямів державної екологічної політики. Комплекс заходів з очищення ґрунтів від токсичних речовин об'єднується поняттям ремедіації, що передбачає застосування

фізичних, хімічних і біологічних методів з метою відновлення функціонального стану ґрунтових екосистем (Чорнобров та ін., 2024). Водночас традиційні способи рекультивації часто характеризуються високою вартістю та значним техногенним навантаженням (Арданов та ін., 2023).

У такому контексті зростає науковий та практичний інтерес до фітореMediaції як екологічно безпечної та економічно доцільної альтернативи інших методів ремедіації. ФітореMediaція – це біотехнологічний метод очищення ґрунтів, води й атмосферного повітря за допомогою рослин і асоційованих із ними мікроорганізмів, що забезпечує вилучення, стабілізацію або трансформацію забруднювальних речовин (Цицюра та ін., 2022; Чорнобров та ін., 2024). Основні механізми фітореMediaції наведено на рис. 1.

За оцінками дослідників, фітореMediaційні підходи можуть бути у 5–13 разів економічно ефективнішими порівняно з традиційними технологіями очищення (Арданов та ін., 2023). Крім того, використання отриманої біомаси в енергетичних цілях створює передумови для часткової компенсації

витрат і формування замкнутого кола функціонування ресурсо-ефективних відновлювальних систем (Борецька та ін., 2021).

Попри очевидні переваги, фітореMediaція має низку обмежень, зокрема тривалість процесу очищення, залежність від ґрунтово-кліматичних умов, інвазійні особливості окремих видів, а також чутливість до фітопатогенів і шкідників (Арданов та ін., 2023). Однак за умови розгляду процесу фітореMediaції в рамках поєднання екологічної та економічної ефективності, тривалість процесу може розглядатися не як критичний недолік, а як елемент довгострокової стратегії сталого відновлення забруднених територій.

Особливої актуальності набувають дослідження деревних рослин здатних до фітореMediaції у складі полезахисних лісосмуг, які виконують важливі екосистемні функції в агроландшафтах України (Дубина та ін., 2023; Чорнобров та ін., 2024). Вивчення їх здатності до процесів фітореMediaції є необхідним кроком для розроблення науково-обґрунтованих стратегій відновлення забруднених ґрунтів, а також суміжних

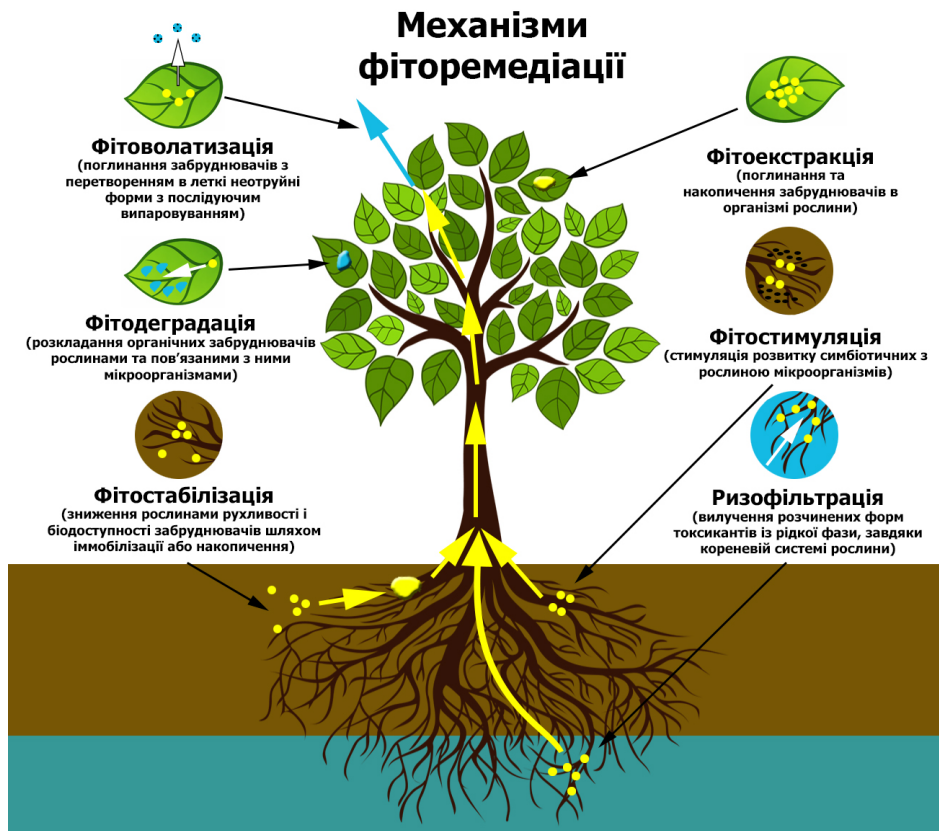


Рис. 1. Механізми фітореMediaції на прикладі деревної рослини (Чорнобров та ін., 2024) (у авторській редакції на основі застосунку Adobe Photoshop CS6)

агроекосистем та мінімізації довгострокових екологічних наслідків військової агресії у поствоєнний період.

Матеріал і методи

Дослідження має оглядово-аналітичний характер і ґрунтується на узагальненні результатів геоботанічних досліджень авторів, проведених у 2019–2025 рр. на території Чернігівської області в межах Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся (рис. 2).

Під час геоботанічних досліджень для фіксації деревних видів у складі полезахисних лісосмуг застосовували маршрутні методи (Якубенко та ін., 2018). Попередні маршрути склалися в застосунку Google Maps. Для навігації використовувався Iphone 11. За результатами польових досліджень був сформований перелік деревних таксонів, фактично представлених у складі лісосмуг регіону.

У межах дослідження розглянуто виключно рослини деревної життєвої форми – дерева; чагарникові та напівчагарникові види у рамках даної роботи не роз-

глядалися. Кількісні показники участі видів (частота трапляння, проєктивне покриття, домінування, таксаційні параметри) не визначалися.

У контексті оцінювання фіторемедіаційних властивостей особливу увагу приділено важким металам, які характеризуються здатністю до біоаккумуляції в органах рослин та потенційною токсичністю за підвищених концентрацій. До аналізу включено елементи, які традиційно відносять до важких металів ($\rho \geq 5 \text{ г/см}^3$, атомний номер > 20) (Войціцький та ін., 2022).

Для оцінювання спроможності деревних видів до фіторемедіації використано загальнонаукові методи: аналіз, синтез, порівняння та системний підхід. Здатність видів до акумуляції важких металів, основні органи акумуляції, механізми фіторемедіації, толерантність до важких металів охарактеризовано на основі аналізу та порівняльного узагальнення наукових публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів.

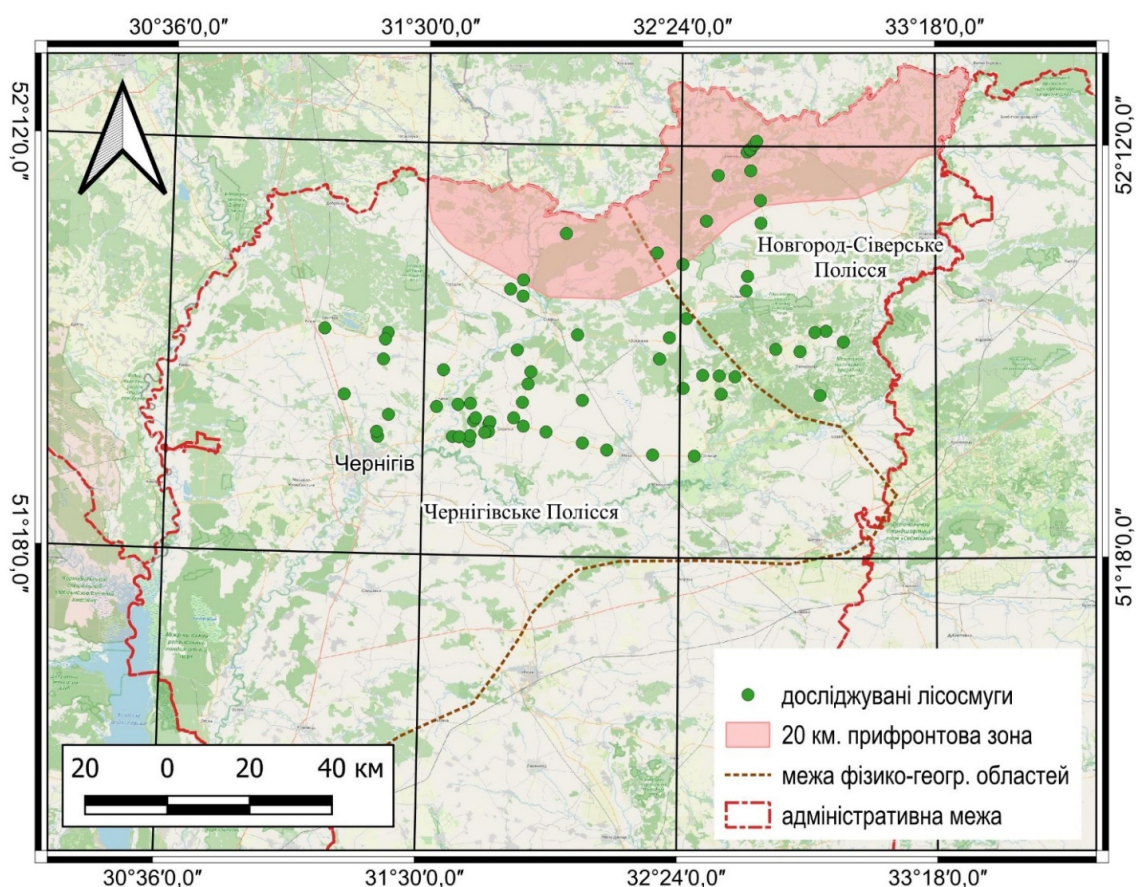


Рис. 2. Картохема досліджуваних полезахисних лісосмуг (у авторській редакції на основі застосунку Qgis 3.40)

Актуальні таксономічні назви судинних рослин наведено у відповідності до інтернет-ресурсу World Flora Online (World ..., 2026).

Картографічний та ілюстрований матеріал формувався за допомогою застосунків QGIS 3.40 та Adobe Photoshop CS6.

Результати

Регіон досліджень характеризується різноманітністю орографічних та кліматичних умов і високою часткою агроландшафтів у своїй структурі. У складі деревного ярусу полезахисних лісосмуг цього регіону зафіксовано комплекс аборигенних та інтродукованих деревних видів. Серед них відмічено *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., представники роду *Acer* L. (*Acer platanoides* L., *A. negundo* L., *A. campestre* L., *A. pseudoplatanus* L.), *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Betula pendula* Roth, види родів *Populus* L. (*Populus tremula* L., *P. alba* L., *P. nigra* L.), *Salix* L. (*Salix alba* L., *S. fragilis* L., *S. pentandra* L., *S. triandra* L., *S. caprea* L.), *Ulmus* L. (*Ulmus laevis* Pall., *U. glabra* Huds., *U. minor* Mill., *U. pumila* L.), *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. та *Pinus sylvestris* L. Подекуди у складі лісосмуг трапляється *Carpinus betulus* L., поодинокі – *Picea abies* (L.) Karst. Крім того, у складі насаджень лісосмуг представлені окремі види родини *Rosaceae*: *Malus sylvestris* L., *Pyrus pyrastrer* L., *Sorbus aucuparia* L. та види роду *Prunus* L. переважно на околицях або неподалік населених пунктів.

Більшість полезахисних лісосмуг регіону досліджень формуються на ґрунтах із помірним зволоженням. У таких умовах місцезростання в деревостанах лісосмуг домінують довговічні широколистяні види, зокрема *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus*, види роду *Acer* та *Ulmus*, які формують основу деревного ярусу більшості полезахисних насаджень. Значна тривалість життя, добре розвинена коренева система та здатність формувати стійкі, високопродуктивні деревні насадження і визначає їх важливу роль у довготривалих процесах відновлення забруднених ґрунтів.

Quercus robur характеризується вираженою толерантністю до широкого спектра важких металів, зокрема таких як As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn, а також здатністю їх акумулювати у різних органах рослини (Plasek et al., 2016; Dadea et al., 2017; Mleczeek et al., 2017; Корень, 2025; Nechita et al., 2025a). У процесах фіто-

ремедіації провідна роль виду пов'язана з механізмами фітостабілізації, за рахунок чого, значна частина токсичних елементів зосереджується в кореневій системі та деревині. Також, важливу роль відіграють тонкі корені рослини, що ефективно акумулюють Cd і обмежують його транслокацію до надземних органів. Завдяки довговічності, значній біомасі та стійкості насаджень *Quercus robur* може розглядатися як один із ключових видів для довготривалого процесу фітостабілізації забруднених ґрунтів. На території досліджень також відмічено місцезростання інвазійного виду роду *Quercus* L. – *Quercus rubra* L., який буде характеризуватися подібними до *Quercus robur* властивостями, проте, можна констатувати, що завдяки більш швидкому росту та більшій надземній біомасі вид буде проявляти дещо більшу здатність до накопичення важких металів в листках, що свідчитиме про залучення механізму фітоекстракції.

Tilia cordata вирізняється значним потенціалом до фітостабілізації. Особливістю виду є здатність до акумуляції As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Tl, Sb, Sn, Sr, Zn (Dadea et al., 2017; Караванович і Глібовицька, 2020; Budzyńska et al., 2024; Figas et al., 2025), причому основна частина важких металів зосереджується у кореневій системі та корі, що свідчить про переважання механізму фітостабілізації. Листя рослини може додатково акумулювати забруднювачі через атмосферне надходження. Екологічною особливістю даного виду є здатність до формування значної листяної підстилки, яка швидко мінералізується, що в свою чергу покращує структуру ґрунтів і активізує ґрунтову мікробіоту.

Fraxinus excelsior виявляє здатність до акумуляції Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Reza Sangi et al., 2008; Daghestani & Kolahi, 2024), причому більшість з перелічених важких металів локалізується у кореневій системі та корі. У свою чергу це свідчить про його роль у процесах фіторемедіації як фітостабілізуючого виду в умовах техногенного забруднення. Значна біомаса сприяє формуванню поживної листяної підстилки, яка покращує біологічну активність ґрунтів і стимулює розвиток ризосферних мікроорганізмів.

Carpinus betulus відзначається здатністю до механізму фітостабілізації забруднених ґрунтів. Вид здатний накопичувати As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn у кореневій системі (Dadea et al., 2017; Opeña et al., 2023), що

обмежує їх міграцію у ґрунтового профілі. Щільна листкова поверхня також сприяє затриманню пилових частинок, виконуючи додаткову функцію біофільтрації атмосферного повітря.

Види роду *Acer* L. (*Acer platanoides*, *A. negundo*, *A. campestre*, *A. pseudoplatanus*) здатні до існування в різних ґрунтово-кліматичних умовах та акумуляції таких важких металів, як As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Dadea et al., 2017; Mleczek et al., 2017; Караванович і Глібовицька, 2020; Елагіна та ін., 2022; Lovynska et al., 2023; Daghestani & Kolahi, 2024). Переважна частина вищезгаданих металів локалізується у кореневій системі та корі, що свідчить про фітостабілізаційну роль у процесах фіторемедіації, тоді як листки рослини залучені до процесів фітоекстракції за рахунок акумуляції важких металів листковою поверхнею. Завдяки розвиненій кореневій системі та значній листковій поверхні представники роду *Acer* позитивно впливають на фізико-хімічні властивості ґрунтів і мікробіологічну активність ризосфери. *Acer negundo* визначається особливою екологічною пластичністю та невибагливістю, однак через його інвазійні особливості, вид потребує обмеженого й контрольованого використання у процесах фіторемедіації в межах уже сформованих рослинних угруповань лісосмуг.

Види роду *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. glabra*, *U. minor*, *U. pumila*) також є типовими компонентами у зволжених та перезволжених лісосмугах регіону досліджень. Вони здатні до акумуляції As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Tl, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Mataruga et al., 2020; Ступак і Когут, 2025), причому переважна більшість наведених елементів локалізується у коренях і корі, що свідчить про домінування фітостабілізаційного механізму, завдяки чому, наведені види сприяють обмеженню їх міграції у ґрунтового профілі.

У зволжених та перезволжених місцях, полезахисні лісосмуги формуються угруповання з переважанням видів, адаптованих до підвищеної вологості. До них належать *Alnus glutinosa*, види роду *Populus* та *Salix*, а також *Betula pendula*.

Alnus glutinosa є важливим видом у формуванні вологих та перезволжених екосистем Лівобережного Полісся, який здатний до механізмів фітостабілізації та фітостимуляції. У забруднених ґрунтах важкими металами, вона здатна акумулювати As, Cd, Cu,

Ni, Pb, Sb, Zn переважно у коренях і корі (Lorenc-Plucińska et al., 2013; Molnárová et al., 2018). Симбіоз виду із актиноміцетами роду *Frankia* забезпечує біологічну фіксацію азоту, що сприяє покращенню родючості ґрунтів і прискорює відновлення забруднених екосистем (Lorenc-Plucińska et al., 2013).

Види роду *Populus* (*Populus tremula*, *P. nigra*, *P. alba*) характеризуються швидким ростом та здатні до акумуляції Cd, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn (Pulford & Watson, 2003; Бессонова і Зайцева, 2008; Козловський, 2009; Борецька та ін., 2021; Di Stasio et al., 2025). Cd і Zn часто переносяться у надземну біомасу, що визначає роль тополь як фітоекстракторів, тоді як Pb і Cr переважно накопичуються у коренях. Швидкий ріст та висока екологічна пластичність даних видів, робить їх придатними для пришвидшених процесів фіторемедіації.

Види роду *Salix* (*Salix alba*, *S. fragilis*, *S. pentandra*, *S. triandra*, *S. caprea*) характеризуються швидким ростом, високим набором біомаси та здатністю до інтенсивної акумуляції Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn (Pulford & Watson, 2003; Бессонова і Зайцева, 2008; Козловський, 2009; Борецька та ін., 2021; Oreña et al., 2023; Di Stasio et al., 2025). Для деяких видів (*Salix alba*, *S. triandra*, *S. pentandra*) характерне активне накопичення Cd і Zn у надземній біомасі, що свідчить про здатність видів до фітоекстракції, тоді як *Salix fragilis*, *S. caprea* частіше виступають як фітостабілізатори. Проте, зазначене розмежування є умовним, оскільки в різних природних умовах та рівнях техногенного забруднення, наведені види можуть поєднувати дані механізми.

Особливістю *Betula pendula* є висока екологічна пластичність та швидкий ріст, що зумовлює її поширення в антропогенно трансформованих та деградованих екосистемах. Вид здатний до накопичення Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Козловський, 2009; Dadea et al., 2017; Mleczek et al., 2017; Караванович і Глібовицька, 2020; Oreña et al., 2023; Świątek et al., 2024), причому основна частина металів концентрується у кореневій системі, що свідчить про фітостабілізаційний механізм рослини у процесах фіторемедіації. Часткове транспортування елементів у листя та кору визначає вид як фітоекстрактор. Завдяки широкій екологічній амплітуді *Betula pendula* здатна до існування у різних умовах місцезростання.

На деградованих і антропогенно-трансформованих територіях, на яких розташовані лісосмуги, важливу роль відіграють види з високою екологічною пластичністю, які здатні до швидкого росту та невибагливі до умов місцезростання. До них належать *Robinia pseudoacacia*, *Betula pendula*, а також деякі види роду *Acer*. Повторне згадування цих таксонів зумовлене їхньою здатністю зростати в широкому спектрі екологічних умов і формувати піонерні деревні угруповання.

Robinia pseudoacacia є інтродукованим видом із фітостабілізаційними та фітостимуляційними властивостями, особливо в умовах деградованих і антропогенно трансформованих фітоценозів. У забруднених ґрунтах вона здатна акумулювати Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Dadea et al., 2017; Елагіна та ін., 2022; Lovynska et al., 2023), причому основна частина важких металів локалізується у кореневій системі і корі. Додатковою перевагою є симбіоз виду із азотфіксувальними мікроорганізмами (Gao et al., 2025), що сприяє збагаченню ґрунтів азотом і покращенню мікробіологічних процесів. Разом із тим використання виду потребує контролю та є доцільним лише у вже сформованих природних або антропогенно-трансформованих рослинних угрупованнях лісосмуг через його інвазійні особливості.

У лісосмугах на піщаних або відносно сухих ґрунтах важливу фітостабілізуючу роль відіграють хвойні породи дерев, зокрема *Pinus sylvestris*, а також подекуди *Picea abies*.

Pinus sylvestris характеризується толерантністю до техногенного забруднення і здатністю акумулювати Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn у хвої, корі та кореневій системі (Козловський, 2009; Placek et al., 2016; Świątek et al., 2024; Корень, 2025). Важливу роль у регуляції надходження важких металів до органів рослини відіграють ектомікоризні асоціації, зокрема утворені суїлоїдними грибами та *Hebeloma* та *Inocybe* (Корень, 2025), які можуть накопичувати важкі метали у міцелії та обмежувати їх транспортування у тканини рослини (Sarupana, 2011). У цілому вид реалізує переважно фітостабілізаційний механізм із додатковою функцією біофільтрації атмосферного повітря. В регіоні також трапляється інвазійний вид роду *Pinus* L. – *Pinus banksiana* Lamb., який за фіторемедіаційними властивостями

подібний до *Pinus sylvestris*, проте відзначається більшою посухостійкістю.

Picea abies здатна до акумуляції Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Sr, Zn переважно у хвої та корі, значною мірою за рахунок атмосферного надходження (Placek et al., 2016; Korzeniowska et al., 2021; Nechita et al., 2025b). Хоча вид не визначається гіперакумуляторною здатністю, проте він здатний фіксувати важкі метали у біомасі та зменшувати їх міграцію в ґрунтовому профілі. У лісосмугах, де за участю *Picea abies* сформовані вже повноцінні угруповання лісової рослинності, супутником виду в моховому ярусі є *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., який також здатний до симбіозу з азотфіксувальними мікроорганізмами і до накопичення у своїй біомасі важких металів (Korzeniowska et al., 2021). Однак такі лісові угруповання на території досліджень було відмічено вкрай рідко. У складі лісосмуг регіону досліджень *Picea abies* зустрічається одинично та виконує переважно фітостабілізаційну функцію з додатковою функцією біофільтрації атмосферного повітря.

У складі полезахисних лісосмуг регіону досліджень поряд з іншими деревними видами також були відмічені представники родини *Rosaceae* (*Malus sylvestris*, *Pyrus pyraster*, *Sorbus aucuparia*, види роду *Prunus*). Ці види характеризуються здатністю до акумуляції As, Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn (Munzuroğlu & Gür, 2000; Corneanu et al., 2013; Tošić et al., 2015; Telichowska et al., 2020; Čeryová et al., 2024; Milošević et al., 2025). Основна частина важких металів у даних видів локалізується у кореневій системі та корі, а також часткове накопичення можливе у плодах та ягодах (Некос, 2012), що свідчить про переважання механізму фітостабілізації над фітоекстракцією. Водночас дані види відіграють допоміжну роль у відновленні екосистем завдяки активним ризосферним процесам і формуванню органічної підстилки разом з іншими видами у складі лісосмуг регіону через свою незначну представленість.

Обговорення

Отримані результати підтверджують, що деревні види, які формують полезахисні лісосмуги Лівобережного Полісся, характеризуються різною здатністю до участі у процесах фіторемедіації забруднених ґрунтів. Більшість із наведених видів реалізує переважно фітостабілізаційний механізм, за рахунок якого важкі метали акумулюються

у кореневій системі, корі та інших органах, що обмежує їх міграцію у ґрунтовому профілі та суміжних агроєкосистемах.

Серед довговічних аборигенних порід важливу фітостабілізаційну роль відіграють *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Fraxinus excelsior* та *Carpinus betulus*. Їх потужна розгалужена коренева система сприяє накопиченню важких металів у ризосфері, тоді як значна поверхнева біомаса і тривалий життєвий цикл забезпечують довготривале функціонування механізмів фітостабілізації.

Окрему функціональну групу становлять піонерні та швидкорослі види, зокрема *Betula pendula*, види роду *Populus* та *Salix*, які поєднують швидкий ріст з набором біомаси із здатністю до активного поглинання важких металів. Для цих видів характерні більш виражені механізми фітоекстракції, особливо щодо Cd та Zn, які здатні надходити у надземні органи зазначених видів.

Суттєвий інтерес в рамках процесів фітореємедіації становлять також деревні види, які здатні покращувати ґрунтові властивості завдяки симбіотичним зв'язкам із мікроорганізмами через механізм фітостимуляції. До таких видів належать *Alnus glutinosa* та *Robinia pseudoacacia*, які утворюють азотфіксувальні симбіози з актиноміцетами або бульбочковими бактеріями.

Хвойні породи дерев, зокрема *Pinus sylvestris* і *Picea abies* виконують переважно функцію біофільтрації атмосферного повітря та беруть участь у процесах фітореємедіації за рахунок механізму фітостабілізації, акумулюючи важкі метали у хвої та корі.

Таким чином, полезахисні лісосмуги Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся містять комплекс деревних видів, які здатні до фітореємедіації забруднених ґрунтів важкими металами переважно механізмами фітостабілізації, фітоекстракції та фітостимуляції. Поєднання довговічних видів-фітостабілізаторів, швидкорослих фітоекстракторів і видів, здатних до фітостимуляції створює передумови для формування багатфункціональних насаджень, здатних виконувати ґрунтозахисні функції та брати участь у процесах очищення забруднених ґрунтів. У післявоєнний період такі насадження можуть стати важливим елементом відновлення також суміжних агроландшафтів, забруднених унаслідок активних воєнних дій.

Водночас слід враховувати, що проведене дослідження має оглядово-аналітич-

ний характер і ґрунтується на узагальненні літературних даних. Представлений перелік видів сформований за результатами польових досліджень не є кінцевим. Подальші дослідження мають бути спрямовані на кількісне оцінювання акумуляції важких металів у різних органах деревних рослин, визначення коефіцієнтів біоконцентрації та транслокації, а також аналіз впливу ґрунтових, гідрологічних та кліматичних умов на ефективність фітореємедіаційних процесів.

Висновки

У складі деревного ярусу полезахисних лісосмуг Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся зафіксовано комплекс аборигенних широколистяних видів (*Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, роду *Acer* та *Ulmus*, локально – *Carpinus betulus*), піонерних і вологолюбних видів (*Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Alnus glutinosa*, роду *Populus* та *Salix*), а також хвойних (*Pinus sylvestris*, поодинокі *Picea abies*). За літературними даними, для більшості зафіксованих видів характерний механізм фітостабілізації з переважною локалізацією важких металів у кореневій системі та корі, що обмежує їх міграцію у ґрунтовому профілі та суміжні агроєкосистеми. У складі лісосмуг також трапляються представники родини *Rosaceae*, які здатні виконувати переважно фітостабілізаційну та частково фітостимуляційну функції. *Quercus robur* і *Tilia cordata* доцільно розглядати як базові довговічні компоненти відновлення лісосмуг на забруднених ділянках, тоді як *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus* та види роду *Ulmus* доповнюють стабілізуючий каркас насаджень. Види роду *Salix* та *Populus* мають підвищений потенціал до фітоекстракції завдяки швидкому росту та транслокації елементів у надземну біомасу, а *Betula pendula* є перспективним піонерним видом із поєднанням фітостабілізаційної та фітоекстракційної функції. Оптимальна післявоєнна стратегія, спрямована на відновлення забруднених ґрунтів важкими металами за допомогою інструментів фітореємедіації, має ґрунтуватися на змішаних багатоярусних насадженнях, що поєднують довговічні види, здатні до фітостабілізації, фітоекстракції та видів, здатних до фітостимуляції, зокрема *Alnus glutinosa* і *Robinia pseudoacacia*, з урахуванням екологічних умов та інвазійних особливостей окремих таксонів.

Список використаної літератури

- Арданов П.Є., Герасько Т.В., Дем'янюк О.С. та інші. Агроекологія та пермакультура: продовольча безпека, повоєнне відновлення, нульове забруднення, сталий розвиток: підручник / За ред. П.Є. Арданова. Київ: Талком, 2023. 240 с.
- 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. 13(2). С. 62–77.
- Борецька І.Ю., Джура Н.М., Романюк О.І. Фіторе mediaція техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2021. 6(39). С. 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11>
- Войціцький В.М., Хижняк С.В., Корнієнко В.І., Мідик С.В., Ладогубець О.В., Дученко К.А., Гаркуша І.В. Атомна спектрометрія – пріоритетний метод визначення важких металів у довкіллі та сільськогосподарській продукції. *Екологічні науки*. 2022. 5(44) С. 32–35. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.4>
- Дубина Д.В., Устименко П.М., Дзюба Т.П., Ємельянова С.М., Дацюк В.В. Полезахисні лісові смуги України: оглядово-аналітична оцінка та план дій. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія*. 2023. 51(1). С. 44–52. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.6>
- Елагіна А.О., Хмельникова Л.І., Більчук В.С. Вплив важких металів на функціональний стан лікарських деревних рослин. «XIX Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії» (м. Дніпро, 16–19 травня 2022 р.) Дніпро: ДДМУ, 2022. С. 14–15.
- Караванович Х.Б., Глібовицька Н.І. Здатність деревних видів акумулювати важкі метали в умовах нафтозабруднених ґрунтів. *Науковий вісник НАТУ України*. 2020. 30(1). С. 83–87. <https://doi.org/10.36930/40300114>
- Козловський В.І. Важкі метали в екосистемах техногенно порушених територій Яворівського родовища сірки (Передкарпаття). *Наук. зап. Держ. природознав. музею*. 2009. 25. С. 99–110.
- Коніщук В.В., Хом'як І.В., Шумигай І.В., Онищук І.П. Динаміка рослинності полезахисних лісосмуг, уражених бойовими діями, різної інтенсивності. *Агроекологічний журнал*. 2025. 2. С. 6–13. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333813>
- Корень О. І. Прогнозований вплив *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. та *Salix viminalis* L. на вміст важких металів у ґрунтових профілях району видобутку залізної руди. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. 2025. 54. С. 120–128. <https://doi.org/10.15421/442512>
- Некос А.Н. Акумулятивні властивості рослин як фактор формування екологічної безпеки рослинної харчової продукції (на прикладі Харківського регіону). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. 1-2. С. 100–107.
- Ступак Ю., Когут Е. Акумуляція важких металів у листках *Ulmus pumila* L. поблизу залізничних колій. *Biota. Human. Technology*. 2025. 3. С. 12–20. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1>
- Цицюра Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех А.В. Інноваційні підходи до фіторе mediaції та фіторекультивациі у сучасних системах землеробства. Монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.
- Чорнобров О.Ю., Соломаха В.А., Соломаха І.В., Саблук В.Т., Гументик М.Я., Шевчик В.А. Відтворення полезахисних лісосмуг, пошкоджених унаслідок військових дій, у зоні Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2024. 4. С. 81–91. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317154>
- Якубенко Б.Є., Попович С.Ю., Устименко П.М., Дубина Д.В., Чурілов А.М. Геоботаніка: методичні аспекти досліджень. Київ: Ліра-К, 2018. 316 с.
- 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. *Science of The Total Environment*. 2024. 944. 173941. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173941>
- Capuana M. Heavy metals and woody plants – biotechnologies for phytoremediation. *iForest – Biogeosciences and Forestry*. 2011. 4(1). P. 7–15. <https://doi.org/10.3832/ifer0555-004>
- Ceryová N., Lidiková J., Grygorieva O., Brindza J., Demianová A., Jurčaga L. Antioxidant Activity and Content of Heavy Metals in Cherry Fruit (*Prunus avium* L.). *Agrobiodiversity for Improving Nutrition. Health and Life Quality*. 2024. 8(2). <https://doi.org/10.15414/ainhql.2024.0018>

Corneanu M., Corneanu G. C., Tripon S., Crăciun C. The phytoremediatory quality of the *Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd. species. *Annals of RSCB*. 2013. XVIII(2). P. 148–158.

Dadea C., Russo A., Tagliavini M., Mimmo T., Zerbe S. Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: A review with special regard to heavy metals. *Arboriculture and Urban Forestry*. 2017. 43(4). P. 155–167. <https://doi.org/10.48044/jauf.2017.014>

Daghestani M., Kolahi M. Phytoremediation potential of seedlings: comparing heavy metal accumulation in *Ailanthus*, *Acer*, and *Fraxinus* species. *Environ Monit Assess*. 2024. 196. 920. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13054-7>

Di Stasio L., Gentile A., Tangredi D.N., Piccolo P., Oliva G., Vigliotta G., Cicatelli A., Guarino F., Guidi Nissim W., Labra M. Urban Phytoremediation: A Nature-Based Solution for Environmental Reclamation and Sustainability. *Plants*. 2025. 14. 2057. <https://doi.org/10.3390/plants14132057>

Figas A., Tomaszewska-Sowa M., Siwik-Ziomek A., Kobierski M. Phytoaccumulation of Heavy Metals in Flowers of *Tilia cordata* Mill. and Soil on Background Enzymatic Activity. *Forests*. 2025. 16(6). 991. <https://doi.org/10.3390/f16060991>

Gao L., Wang S., Zou D., Fan X. Guo P., Du H., Zhao W., Mao Q., Li H., Ma M., Rennenberg H. Responses of *Robinia pseudoacacia* co-inoculated with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi to cadmium under nitrogen excess condition. *Plant Soil*. 2025. 508. P. 909–924. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06836-y>

Korzeniowska J., Kraz P., Dorocki S. Heavy Metal Content in the Plants (*Pleurozium schreberi* and *Picea abies*) of Environmentally Important Protected Areas of the Tatra National Park (the Central Western Carpathians, Poland). *Minerals*. 2021. 11. 1231. <https://doi.org/10.3390/min11111231>

Lorenc-Plucińska G., Walentynowicz M., Niewiadomska A. Capabilities of alders (*Alnus incana* and *A. glutinosa*) to grow in metal-contaminated soil. *Ecological Engineering*. 2013. 58. P. 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.002>

Lovynska V., Holoborodko K., Ivanko I., Sytnyk S., Zhukov O., Loza I., Wiche O., Heilmeyer H. Heavy metal accumulation by *Acer platanoides* and *Robinia pseudoacacia* in an industrial city (Northern Steppe of Ukraine). *Biosystems Diversity*. 2023. 31(2). P. 246–253. <http://doi.org/10.15421/012327>

Mataruga Z., Jarić S., Kostić O., Marković M., Jakovljević K., Mitrović M., Pavlović P. The potential of elm trees (*Ulmus glabra* Huds.) for the phytostabilisation of potentially toxic elements in the riparian zone of the Sava River. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020. P. 4309–4324. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07173-9>

Milošević N., Glišić I., Đorđević M., Marić S., Radičević S., Milinković M., Milošević T. Influence of cultivar on macro- and micronutrient composition, potential toxic elements accumulation and their interrelationships in leaves and fruits of European plum (*Prunus domestica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025. 147. 107979. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107979>

Młeczek M., Goliński P., Krzesłowska M., Gąsecka M. and other. Phytoextraction of potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int*. 2017. 24(28). 22183–22195. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9842-3>

Molnárová M., Ružičková J., Lehotská B., Takáčová A., Fargašová A. Determining As, Cd, Cu, Pb, Sb, and Zn in Leaves of Trees Collected near Mining Locations of Malé Karpaty Mts. in the Slovak Republic. *Pol. J. Environ. Stud*. 2018. 27(5). P. 2179–2191. <https://doi.org/10.15244/pjoes/78889>

Munzuroğlu Ö, Gür N. The Effects of Heavy Metals on the Pollen Germination and Pollen Tube Growth of Apples (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden). *Turkish Journal of Biology*. 2000. 24(3). P. 677–684.

Nechita C., Iordache A.M., Pluhacek T., Gregar F., Camarero J.J. Hazardous metals coupled with increasing summer diurnal temperature range contributed to growth decline of two oak species in a heavily industrialized area. *Journal of Hazardous Materials*. 2025. 496. 139519. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139519>

Nechita C., Iordache A.M., Roba C., Sandru C., Zgavarogea R., Camarero J.J. Heavy Metal Health Risk Assessment in *Picea abies* L. Forests Along an Altitudinal Gradient in Southern Romania. *Plants*. 2025. 14. 968. <https://doi.org/10.3390/plants14060968>

Opeňa J., Halasz, G. E., Árgyelan J. T., Horvath M. Phytoremediation of Potential Toxic Elements by Native Tree Species in Mined- Spoiled Soils in Mátraszentimre, Hungary. *Journal of Environmental Science and Management*. 2023. 25(2). P. 49–60. https://doi.org/10.47125/jesam/2022_2/06

Placek A., Grobelak A., Kacprzak M. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*. 2016. 18(6). P. 605–618. <http://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086308>

Pulford I.D., Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environment International*. 2003. 29. P. 529–540. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6)

Reza Sangi M., Shahmoradi A., Zolgharnein J., Hassan Azimi G., Ghorbandoost M. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using *Ulmus carpinifolia* and *Fraxinus excelsior* tree leaves. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. 155(3). P. 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.110>

Świątek B., Kraj W., Pietrzykowski M. Adaptation of *Betula pendula* Roth., *Pinus sylvestris* L., and *Larix decidua* Mill. to environmental stress caused by tailings waste highly contaminated by trace elements. *Environ Monit Assess*. 2024. 196. 52. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12134-4>

Telichowska A., Kobus-Cisowska J., Szulc P. Phytopharmacological possibilities of Bird Cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. Species and Their Bioactive Phytochemicals. *Nutrients*. 2020. 12(7). 1966. <https://doi.org/10.3390/nu12071966>

Tošić S., Alagić S., Dimitrijević M., Pavlović A., Nujkić M. Plant parts of the apple tree (*Malus* spp.) as possible indicators of heavy metal pollution. *Ambio*. 2015. 45(4). P. 501–512. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0742-9>

World Flora Online 2026. Plant List In World Flora Online. URL: <https://wfpplantlist.org/plantlist> (дата звернення: 02.03.2026).

WWF-Україна 2025. Наслідки бойових дій для лісосмуг та шлях до їх відновлення. URL: <https://wwf.ua/?17150341/war-and-shelterbelts> (дата звернення: 15.02.2026).

References

Ardanov, P.Y., Herasko, T.V., Demianiuk, O.S. et al. (2023). Ahroekolohiia ta permakultura: prodovolcha bezpeka, povoiennie vidnovlennia, nulove zabrudnennia, stalnyi rozvytok: pidruchnyk [Agroecology and permaculture: food security, post-war recovery, zero pollution, sustainable development: a textbook]. Kyiv: Talkom [in Ukrainian].

Bessonova, V.P., & Zaitseva, I.A. (2008). Vmist vazhkykh metaliv u lysti derev i chaharnykyv v umovakh tekhnogennoho zabrudnennia riznoho pokhodzhennia [The content of heavy metals in the leaves of trees and shrubs under conditions of technogenic pollution of various origins]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii [Problems of bioindications and ecology]*, 13(2), 62–77. [in Ukrainian].

Boretska, I.Iu., Dzhura, N.M., & Romaniuk, O.I. (2021). Fitoremediatsiia tekhnogenno zabrudnennykh gruntiv z vykorystanniam enerhetychnykh kultur [Phytoremediation of technogenically contaminated soils using energy crops]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, 6(39), 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11> [in Ukrainian].

Chornobrov, O.Yu., Solomakha, V.A., Solomakha, I.V., Sabluk, V.T., Humentyk, M.Ya., & Shevchyk, V.L. (2024). Vidtvorennia polezakhysnykh lisosmuh poshkodzhennykh unaslidok viiskovykh dii u zoni Lisostepu Ukrainy [Restoration of the field protective forest belts damaged by military activities in the Foreststeppe zone of Ukraine]. *Agroecological journal*, 4, 81–91. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317154>

Dubyna, D.V., Ustymenko, P.M., Dziuba, T.P., Iemelianova, S.V., & Datsyuk, V.V. (2023). Polezakhysni lisovi smuhy Ukrainy: ohliadovo-analitychna otsinka ta plan dii [Protective forest belts of Ukraine: Review and analysis assessment and action plan]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Ahronomiia i biolohiia» [Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology]*, 51(1), 44–52. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.6> [in Ukrainian].

Elahina, A.O., Khmelnykova, L.I., & Bilchuk, V.S. (2022). Vplyv vazhkykh metaliv na funktsionalnyi stan likarskykh derevnykh roslyn [The influence of heavy metals on the functional state of medicinal woody plants]. *XX Vseukrainska konferentsiia molodykh vchenykh ta studentiv z aktualnykh pytan suchasnoi khimii [XX All-Ukrainian Conference of Young Scientists and Students on Current Issues of Modern Chemistry]*. Dnipro, pp. 14–15. [in Ukrainian].

Karanovych, K.B., & Glibovytska, N.I. (2020). Zdatnist derevnykh vydiv akumuliuvaty vazhki metaly v umovakh naftozabrudnennykh gruntiv [The woody species accumulative ability of heavy metals in the conditions of oil-polluted soils]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 30(1), 83–87. <https://doi.org/10.36930/40300114> [in Ukrainian].

Kozlovskyy, V.I. (2009). Vazhki metaly v ekosystemakh tekhnogenno porushenykh terytorii Yavorivskoho rodovyshcha sirky (Peredkarpattia) [Heavy metals in ecosystems of man-caused area of Yavoriv open-cast sulfur mining (Cisrarpathian region)]. *Naukovi zapysky Derzhavnoho pryrodoznavchoho muzeiu [Proc. of the State Nat. Hist. Museum]*, 25, 99–110. [in Ukrainian].

Konishchuk, V.V., Khomiak, I.V., Shumyhai, I.V., & Onyshchuk, I.P. (2025). Dynamika roslynnosti polezakhysnykh lisosmuh, urazhenykh boiovymy diiamy, riznoi intensyvnosti [Vegetation dynamics of field protective forest strips affected by military actions of various intensities]. *Ahroekologichnyi zhurnal [Agroecological journal]*, 2, 6–13. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333813> [in Ukrainian].

Koren, O. I. (2025). Prohnozovanyi vplyv *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. ta *Salix viminalis* L. na vmist vazhkykh metaliv u gruntovykh profiliakh raionu vydobutku zaliznoi rudy [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]. *Pytannia stepovoho lisoznavstva ta lisovoi rekultyvatsii zemel [Issues of steppe forestry and forest reclamation of soils]*, 54, 120–128. <https://doi.org/10.15421/442512> [in Ukrainian].

Nekos, A.N. (2012). Akumulatyvni vlastyvoli roslyn yak faktor formuvannya ekolohichnoi bezpeky roslynnoi kharchovoi produktsii (na prykladi Kharkivskoho rehionu) [Accumulative properties of plants as a factor in the formation of ecological safety of plant food products (on the example of the Kharkiv region)]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii [Man and environment. Issues of neoecology]*, 1-2, 100–107. [in Ukrainian].

Stupak, Y., & Kohut, E. (2025). Akumulatsiia vazhkykh metaliv u lystkakh *Ulmus pumila* L. poblyzu zaliznychnykh kolii [Accumulation of heavy metals in leaves of *Ulmus pumila* L. near railway tracks]. *Biota. Human. Technology*, 3, 12–20. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1> [in Ukrainian].

Tsytsiura, Ya.H., Shkatula, Yu.M., Zabarna, T.A., & Pelekh, L.V. (2022). Innovatsiini pidkhody do fitoremediatsii ta fitorekultyvatsii u suchasnykh systemakh zemlerobstva [Innovative approaches to phytoremediation and phytorecultivation in modern agricultural systems. Monograph]. Vinnytsia: TOV «Druk». [in Ukrainian].

Voitsitskiy, V.M., Khyzhniak, S.V., Korniienko, V.I., Midyk, S.V., Ladohubets, O.V., Duchenko, K.A., & Harkusha, I.V. (2022). Atomna spektrometriia – priorytetnyi metod vyznachennia vazhkykh metaliv u dovkilli ta silskohospodarskii produktsii [Atomic spectrometry is the preferred method for determining heavy metals in the environment and agricultural products]. *Environmental sciences*, 5(44), 32–35. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.4>

Yakubenko, B.Y., Popovych, S.Iu., Ustymenko, P.M., Dubyna, D.V., & Churilov, A.M. (2018). Heobotanika: metodychni aspekty doslidzhen [Geobotany: methodological aspects of research. textbook]. Kyiv: Lira-K. [in Ukrainian].

Budzyńska, S., Rudnicki, K., Budka, A., Niedzielski, P., & Mleczek, M. (2024). 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. *Science of The Total Environment*, 944, 173941. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173941> [in English].

Capuana, M. Heavy metals and woody plants – biotechnologies for phytoremediation. (2011). *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 4(1), 7–15. <https://doi.org/10.3832/ifer0555-004> [in English].

Čeryová, N., Lidiková, J., Grygorieva, O., Brindza, J., Demianová, A., & Jurčaga, L. (2024). Antioxidant Activity and Content of Heavy Metals in Cherry Fruit (*Prunus avium* L.). *Agrobiodiversity for Improving Nutrition. Health and Life Quality*, 8(2). <https://doi.org/10.15414/ainhql.2024.0018> [in English].

Corneanu, M., Corneanu, G.C., Tripon, S., & Crăciun, C. (2013). The phytoremediatory quality of the *Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd. species. *Annals of RSCB*, XVIII (2), 148–158. [in English].

Dadea, C., Russo, A., Tagliavini, M., Mimmo, T., & Zerbe, S. (2017). Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: A review with special regard to heavy metals. *Arboriculture and Urban Forestry*, 43(4), 155–167. <https://doi.org/10.48044/jauf.2017.014> [in English].

Daghestani, M., & Kolahi, M. (2024). Phytoremediation potential of seedlings: comparing heavy metal accumulation in *Ailanthus*, *Acer*, and *Fraxinus* species. *Environ. Monit. Assess*, 196, 920. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13054-7> [in English].

Di Stasio, L., Gentile, A., Tangredi, D.N., Piccolo, P., Oliva, G., Vigliotta, G., Cicatelli, A., Guarino, F., Guidi Nissim, W., & Labra, M. (2025). Urban Phytoremediation: A Nature-Based Solution

for Environmental Reclamation and Sustainability. *Plants*, 14, 2057. <https://doi.org/10.3390/plants14132057> [in English].

Figas, A., Tomaszewska-Sowa, M., Siwik-Ziomek, A., & Kobierski, M. (2025). Phytoaccumulation of Heavy Metals in Flowers of *Tilia cordata* Mill. and Soil on Background Enzymatic Activity. *Forests*, 16(6), 991. <https://doi.org/10.3390/f16060991> [in English].

Gao, L., Wang, S., Zou, D., Fan, X., Guo, P., Du, H., Zhao, W., Mao, Q., Li, H., Ma, M., & Rennenberg, H. (2025). Responses of *Robinia pseudoacacia* co-inoculated with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi to cadmium under nitrogen excess condition. *Plant Soil*, 508, 909–924. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06836-y> [in English].

Korzeniowska, J., Kraz, P., & Dorocki, S. (2021). Heavy Metal Content in the Plants (*Pleurozium schreberi* and *Picea abies*) of Environmentally Important Protected Areas of the Tatra National Park (the Central Western Carpathians, Poland). *Minerals*, 11, 1231. <https://doi.org/10.3390/min11111231> [in English].

Lorenc-Plucińska, G., Walentynowicz, M., & Niewiadomska, A. (2013). Capabilities of alders (*Alnus incana* and *A. glutinosa*) to grow in metal-contaminated soil. *Ecological Engineering*, 58, 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.002>

Lovynska, V., Holoborodko, K., Ivanko, I., Sytnyk, S., Zhukov, O., Loza, I., Wiche, O., & Heilmeyer, H. (2023). Heavy metal accumulation by *Acer platanoides* and *Robinia pseudoacacia* in an industrial city (Northern Steppe of Ukraine). *Biosystems Diversity*, 31(2), 246–253. <http://doi.org/10.15421/012327> [in English].

Mataruga, Z., Jarić, S., Kostić, O., Marković, M., Jakovljević, K., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2020). The potential of elm trees (*Ulmus glabra* Huds.) for the phytostabilisation of potentially toxic elements in the riparian zone of the Sava River. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 4309–4324. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07173-9> [in English].

Milošević, N., Glišić, I., Đorđević, M., Marić, S., Radičević, S., Milinković, M., & Milošević, T. (2025). Influence of cultivar on macro- and micronutrient composition, potential toxic elements accumulation and their interrelationships in leaves and fruits of European plum (*Prunus domestica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 147, 107979. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107979> [in English].

Mleczeek, M., Goliński, P., Krzesłowska, M., Gąsecka, M., Magdziak Z., Rutkowski P., Budzyńska S., Waliszewska B., Kozubik T., Karolewski Z., & Niedzielski P. (2017). Phytoextraction of potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 24(28), 22183–22195. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9842-3> [in English].

Molnárová, M., Ružičková, J., Lehotská, B., Takáčová, A., & Fargašová, A. (2018). Determining As, Cd, Cu, Pb, Sb, and Zn in Leaves of Trees Collected near Mining Locations of Malé Karpaty Mts. in the Slovak Republic. *Pol. J. Environ. Stud*, 27(5), 2179–2191. <https://doi.org/10.15244/pjoes/78889>

Munzuroğlu, Ö., & Gür, N. (2000). The Effects of Heavy Metals on the Pollen Germination and Pollen Tube Growth of Apples (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden). *Turkish Journal of Biology*, 24(3), 677–684. [in English].

Nechita C., Iordache A.M., Pluhacek T., Gregar F., & Camarero J.J. (2025). Hazardous metals coupled with increasing summer diurnal temperature range contributed to growth decline of two oak species in a heavily industrialized area. *Journal of Hazardous Materials*, 496, 139519. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139519> [in English].

Nechita, C., Iordache, A.M., Roba, C., Sandru, C., Zgavarogea, R., & Camarero, J.J. (2025). Heavy Metal Health Risk Assessment in *Picea abies* L. Forests Along an Altitudinal Gradient in Southern Romania. *Plants*, 14, 968. <https://doi.org/10.3390/plants14060968> [in English].

Opeña, J., Halasz, G. E., Árgyelán, J. T., & Horvath, M. (2023). Phytoremediation of Potential Toxic Elements by Native Tree Species in Mined- Spoiled Soils in Mátraszentimre, Hungary. *Journal of Environmental Science and Management*, 25(2), 49–60. https://doi.org/10.47125/jesam/2022_2/06 [in English].

Placek, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. (2016). Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*, 18(6), 605–618. <http://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086308> [in English].

Pulford, I.D., & Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environment International*, 29, 529–540. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6) [in English].

Reza Sangi, M., Shahmoradi, A., Zolgharnein, J., Hassan Azimi, G., & Ghorbandoost, M. (2008). Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using *Ulmus carpinifolia* and *Fraxinus excelsior* tree leaves. *Journal of Hazardous Materials*, 155(3), 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.110> [in English].

Świątek, B., Kraj, W., & Pietrzykowski, M. (2024). Adaptation of *Betula pendula* Roth., *Pinus sylvestris* L., and *Larix decidua* Mill. to environmental stress caused by tailings waste highly contaminated by trace elements. *Environ Monit Assess*, 196, 52. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12134-4> [in English].

Telichowska, A., Kobus-Cisowska, J., & Szulc, P. (2020). Phytopharmacological possibilities of Bird Cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. Species and Their Bioactive Phytochemicals. *Nutrients*, 12(7), 1966. <https://doi.org/10.3390/nu12071966> [in English].

Tošić, S., Alagić, S., Dimitrijević, M., Pavlović, A., & Nujkić, M. (2015). Plant parts of the apple tree (*Malus* spp.) as possible indicators of heavy metal pollution. *Ambio*, 45(4), 501–512. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0742-9> [in English].

World Flora Online. (2026). Plant List in World Flora Online. [Electronic resource] URL: <https://wfpantlist.org/plant-list> (access date 02.03.2026). [in English].

WWF-Ukraine. (2025). Naslidky boiovykh dii dlia lisosmuh ta shliakh do yikh vidnovlennia [The consequences of hostilities for forest belts and the path to their restoration]. [Electronic resource] URL: <https://wwf.ua/?17150341/war-and-shelterbelts> (access date 15.02.2026). [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

