

УДК 582.991.131-021.4:504.5:631.416
DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.35.27>

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯШНИКУ (*HELIANTHUS ANNUUS L.*) ДЛЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

МАЗУР О.В. – доктор філософії з агрономії,
orcid.org/0000-0002-1763-7548
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Проблема забруднення навколишнього середовища набуває дедалі більшої актуальності в умовах стрімкого розвитку промисловості, урбанізації та інтенсифікації сільськогосподарської діяльності. Однією з найбільш небезпечних форм забруднення є накопичення важких металів у ґрунтах, яке має як локальний, так і глобальний характер. Важкі метали є одними з найбільш токсичних речовин, які не розкладаються в природі, здатні мігрувати через ґрунтові системи та потрапляти до ланцюгів живлення, завдаючи шкоди біорізноманіттю, здоров'ю людей та сільському господарству [1].

Особливо гостро ця проблема стоїть для України, де внаслідок тривалого функціонування промислових підприємств, військових дій, неконтрольованого використання агрохімікатів та відсутності системної екологічної політики відбулося значне локальне і регіональне забруднення ґрунтів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з цим надзвичайно важливим стає пошук та впровадження ефективних, економічно обґрунтованих і екологічно безпечних методів очищення ґрунтів. Одним із таких перспективних методів є фітореємедіація – технологія, що базується на здатності рослин вилучати, переробляти або стабілізувати забруднювачі в ґрунті. Серед різноманітних видів рослин, здатних до фітореємедіації, особливу увагу привертає соняшник (*Helianthus annuus L.*), який поєднує високу біомасу, адаптивність до різних ґрунтово-кліматичних умов та здатність накопичувати значні кількості важких металів [3].

Забруднення ґрунтів важкими металами належить до категорії надзвичайно стійких забруднень, оскільки ці елементи не піддаються біологічному розпаду та можуть тривалий час зберігатися в навколишньому середовищі. Вони можуть накопичуватися в різних компонентах екосистеми, викликаючи токсичний вплив на мікроорганізми, рослини, тварин і, зрештою, людину. Дослідження показують, що навіть низькі концентрації таких металів, як Pb, Cd, Cu, Zn і Hg, здатні порушувати фізіологічні процеси в рослинах, знижуючи врожайність і якість продукції [4].

У зв'язку із цим фітореємедіація розглядається як перспективний напрям у відновленні деградованих земель. Вона передбачає використання рослин, здатних поглинати, накопичувати, трансформувати або стабілізувати забруднювачі в ґрунті. Існують різні типи фітореємедіації: фітоекстракція (видалення металів за

допомогою накопичення в біомасі), фітостабілізація (фіксація металів у ґрунті, що знижує їх біодоступність), фітофільтрація (очищення води рослинами) тощо [5].

Соняшник (*Helianthus annuus L.*) є одним із найвивченіших видів для фітореємедіації завдяки своїй здатності швидко нарощувати велику вегетативну масу, що забезпечує високу продуктивність екстракції металів. Його глибока коренева система дозволяє проникати у важкодоступні шари ґрунту, ефективно мобілізуючи та поглинаючи важкі метали. Крім того, соняшник демонструє високий рівень стресостійкості, зокрема до токсичних впливів металів, що робить його придатним для використання навіть на сильно забруднених ділянках [6].

Застосування соняшника у фітореємедіації в Україні має важливе значення, з огляду на наявність зон із підвищеним рівнем забруднення, особливо в промислово розвинених регіонах. Водночас, завдяки агрономічним перевагам, соняшник може виконувати дві функції – очищення ґрунту та отримання цінної сировини, що сприяє економічній доцільності таких заходів [7].

Мета. Метою цього дослідження є всебічний аналіз потенціалу соняшника (*Helianthus annuus L.*) як ефективного фітореємедіатора для очищення ґрунтів, забруднених важкими металами. Особлива увага приділяється сучасним науковим підходам до оцінки фітореємедіаційних властивостей культури, морфо-фізіологічним особливостям рослини, а також перспективам впровадження цієї технології у аграрних та промислових регіонах України.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводилися опрацюванням літературних джерел за тематикою статті.

Результати досліджень. Важкі метали – це група неорганічних хімічних елементів із високою густиною (переважно понад 5 г/см³), які мають токсичні властивості навіть у малих концентраціях. Вони потрапляють у ґрунтове середовище з різних антропогенних джерел, серед яких варто виділити:

- промислові підприємства, що здійснюють металургійну, гірничодобувну, хімічну діяльність, де відбувається викид металевих сполук у повітря, воду та ґрунт;
- транспорт, який є джерелом викидів токсичних елементів внаслідок згоряння палива та механічного зношування деталей автомобілів (шини, гальмівні колодки);
- сільське господарство, де застосовуються пестициди та мінеральні добрива, що можуть містити домішки важких металів;



© Мазур О.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

– побутові та промислові відходи, що часто не проходять належної утилізації та потрапляють у навколишнє середовище [8].

Важливо зазначити, що важкі метали мають високу хімічну та фізичну стабільність у ґрунті. Вони не піддаються мікробіологічному розпаду, тому після припинення безпосереднього джерела забруднення залишаються у ґрунті протягом десятиліть, інколи навіть століть. Ця особливість зумовлює тривалу екологічну загрозу, адже метали поступово накопичуються в ґрунтових шарах і трансформуються у форми, доступні для поглинання рослинами. Надмірне накопичення цих елементів у рослинній масі призводить до зниження родючості ґрунтів, порушення структури мікробіоценозу, а також становить безпосередню загрозу для здоров'я людини через потрапляння токсичних речовин у харчові продукти і воду [9].

Таким чином, проблема очищення ґрунтів від важких металів набуває особливої актуальності в контексті забезпечення екологічної безпеки, стабільного розвитку сільськогосподарства і збереження біорізноманіття [10].

В умовах України екологічна ситуація значно ускладнюється через наявність численних зон екологічного лиха, викликаних як тривалою експлуатацією промислових об'єктів із застарілими технологіями та недостатнім екологічним контролем, так і через наслідки воєнних дій на території країни. Ці чинники призводять до хронічного забруднення великих площ орних земель, територій населених пунктів та природоохоронних зон важкими металами й іншими токсичними речовинами [11]. Така ситуація створює безпрецедентні виклики для збереження екологічної безпеки, стабільного розвитку сільськогосподарства та охорони здоров'я населення.

У відповідь на ці виклики зростає інтерес до інноваційних екотехнологій, зокрема фітореMediaції – біологічного методу очищення забруднених середовищ за допомогою живих рослин. ФітореMediaція вважається екологічно чистим, економічно ефективним і технологічно доступним способом, який також відрізняється естетичною привабливістю у порівнянні з традиційними хімічними та інженерними методами відновлення [12].

Існує кілька основних механізмів фітореMediaції, кожен з яких має специфічні особливості та застосування:

– фітоекстракція (Phytoextraction) – здатність рослин поглинати токсичні елементи з ґрунту та накопичувати їх у надземних органах, що дозволяє після збору біомаси вилучати забруднювачі з території. Цей метод є особливо ефективним для важких металів, таких як Pb, Cd, Zn, Cu [13].

– фітозабезпечення (Phytostabilization) – процес утримання забруднювачів у кореневій зоні або поверхневому шарі ґрунту шляхом їх стабілізації, що зменшує міграцію токсичних речовин у навколишнє середовище та їхню біодоступність [14].

– фітоволатилізація (Phytovolatilization) – перетворення забруднюючих речовин у більш леткі або менш токсичні форми з подальшим їх випаровуванням через рослинні тканини.

– ризофільтрація (Rhizofiltration) – очищення забрудненої води за допомогою поглинання інактивованих забруднювачів кореневою системою рослин, що використовується для реMediaції водних об'єктів [15].

Переваги фітореMediaції полягають у тому, що вона є екологічно безпечною, може застосовуватися на великих територіях, не вимагає значних фінансових і матеріальних ресурсів, а також сприяє збереженню біорізноманіття і покращенню структури ґрунту. Однак існують і певні обмеження, серед яких відносно повільний темп очищення, необхідність правильного поводження з накопиченою біомасою, що містить токсичні речовини, а також зниження ефективності методу при дуже високих концентраціях забруднювачів [16].

У світовій практиці фітореMediaція набуває все більшого поширення як ефективний метод рекультивації забруднених територій. Особливо активно цей підхід застосовується для відновлення колишніх промислових зон, територій шахт, військових полігонів, сміттєзвалищ та інших екологічно проблемних ділянок. Серед широкого спектру рослин, що використовуються у фітореMediaції, найчастіше досліджуються і застосовуються такі види, як верба (*Salix spp.*), тополя (*Populus spp.*), гірчиця (*Brassica juncea*), ріпак (*Brassica napus*), кукурудза (*Zea mays*) та соняшник (*Helianthus annuus L.*) [16].

Соняшник – однорічна трав'яниста рослина родини айстрових, яка має високу екологічну та економічну цінність. Його вирощують у багатьох країнах світу як олійну культуру, кормову сировину, а також декоративну рослину. Завдяки поєднанню агрономічної доступності та властивостей, корисних для фітореMediaції, соняшник є перспективним об'єктом для застосування у біологічному очищенні забруднених ґрунтів [17].

Основні морфо-фізіологічні особливості соняшника, що визначають його ефективність у фітореMediaції, включають:

1. Велика біомаса: соняшник швидко нарощує значну вегетативну масу за короткий період вегетації. Велика надземна маса дозволяє акумулювати значні кількості забруднюючих речовин, зокрема важких металів, що підвищує ефективність очищення.

2. Глибока і розгалужена коренева система: коріння соняшника проникає у ґрунт на глибину до 2–3 метрів, що дає змогу поглинати металеві елементи з глибших шарів ґрунту, недоступних для багатьох інших культур.

3. Толерантність до стресових факторів: соняшник демонструє високу стійкість до різних абіотичних стресів, зокрема посухи, засолення та токсичності важких металів, що дозволяє йому рости у складних умовах забруднених територій.

4. Економічна привабливість: як широко відома сільськогосподарська культура, соняшник має налагоджену агротехніку вирощування та широкий ринок збуту продукції, що спрощує впровадження фітореMediaції з використанням цієї рослини у практику.

5. Фізіологічна здатність до накопичення металів: наукові дослідження підтверджують, що соняшник ефективно накопичує в надземних органах такі важкі метали, як свинець (Pb), кадмій (Cd), цинк (Zn), мідь (Cu), арсен (As) та інші токсичні елементи, незначно впливаючи на показники росту та розвитку рослини [18].

Завдяки цим властивостям соняшник посідає провідне місце серед культур, рекомендованих для фітореMediaції забруднених важкими металами ґрунтів

і є перспективним для широкого застосування у відновленні екологічного стану земель України.

Крім зазначених переваг, соняшник вирізняється швидким розвитком на ранніх стадіях росту та високою пластичністю до умов навколишнього середовища. Це дозволяє ефективно застосовувати його у різних ґрунтово-кліматичних зонах, включно з деградованими або забрудненими територіями, що особливо актуально для регіонів із складними екологічними умовами [19].

Основним механізмом фітореMediaції за участю соняшника є фітоекстракція – процес поглинання важких металів із забрудненого ґрунту через кореневу систему та їх накопичення у тканинах рослини. Цей складний біологічний процес включає кілька послідовних етапів:

1. Адсорбція металів на поверхні коренів. Іони металів спочатку зв'язуються з клітинними стінками корневих клітин через різноманітні фізико-хімічні взаємодії, зокрема обмінні реакції та комплексоутворення, що може уповільнювати їх проникнення у глибші тканини рослини.

2. Активне поглинання іонів. За допомогою специфічних мембранних транспортних білків (переносників) іони металів проникають у клітини кореня, де вони можуть бути тимчасово зв'язані або іонізовані для подальшого транспорту.

3. Транспортування по ксилемі. Метали разом із водним розчином рухаються від коренів до надземних органів рослини – стебел, листя і, у деяких випадках, насіння.

4. Детоксикація та накопичення. В тканинах рослини важкі метали зв'язуються з білками та пептидами, такими як металотіонеїни та фітохелатини, або депонуються у вакуолях клітин, що знижує їхню токсичність і запобігає ушкодженню клітинних структур [20].

Особливо важливо, що соняшник здатен накопичувати значну частину важких металів у надземній біомасі, що дає можливість ефективно вилучати токсичні елементи з ґрунту шляхом збору і утилізації рослинної маси. Проте здатність соняшника до накопичення металів може варіювати залежно від сорту, стадії росту, а також екологічних умов, що обумовлює необхідність подальших досліджень для оптимізації процесу фітореMediaції [21].

Окрім механізму фітоекстракції, соняшник здатен ефективно сприяти процесу фітостабілізації (phytostabilization) – зниженню рухомості важких металів у ґрунті. Цей процес відбувається завдяки зміні хімічних властивостей середовища, зокрема рН ґрунту, а також через зв'язування металів органічними кислотами, які виділяються кореневими ексудатами. Такі зміни сприяють утворенню малодоступних сполук, що зменшує мобільність і токсичність металів, запобігаючи їхньому проникненню у навколишнє середовище [22].

Світова наукова спільнота провела численні дослідження, які підтверджують високий потенціал соняшника як ефективного фітореMediaтора. У 2000-х роках у країнах Європи, зокрема в Польщі та Німеччині, були проведені експериментальні вирощування соняшника на територіях колишніх промислових зон із забрудненими ґрунтами. Результати цих досліджень показали

значне зниження концентрації свинцю (Pb) і кадмію (Cd) у верхніх шарах ґрунту після кількох циклів культивування соняшника, що свідчить про його ефективність у стабілізації та вилученні металів [23].

В Азії, зокрема в Індії та Китаї, соняшник досліджувався для очищення ґрунтів, забруднених унаслідок гірничодобувної діяльності. Тамтешні науковці виявили, що деякі місцеві сорти соняшника володіють підвищеною стійкістю до токсичних металів і здатні ефективно накопичувати кадмій та цинк [24].

У Сполучених Штатах Америки, у штатах із розвиненим виробництвом соняшникової олії, тривають дослідження щодо застосування соняшника для відновлення земель, забруднених металами внаслідок промислових аварій та військових конфліктів [25].

Практичне впровадження фітореMediaції соняшником супроводжується розробкою спеціалізованих агротехнічних заходів. Серед них – підбір сортів із підвищеною фітореMediaційною здатністю, оптимізація режиму внесення добрив, визначення оптимальних строків посіву та збирання урожаю, а також розробка безпечних методів утилізації металевмісної біомаси. Зокрема, для зменшення екологічного ризику при поводженні з металевмісною біомасою застосовують компостування з використанням мікроорганізмів, здатних трансформувати токсини, або термічну переробку з одержанням біоенергії [26].

В Україні дослідження фітореMediaції за допомогою соняшника лише починають активно розвиватися. Наразі накопичено початкові дані щодо акумуляції важких металів у тканинах різних сортів соняшника, а також їхнього впливу на фізіологічні процеси рослин [27]. Ці дослідження закладають фундамент для подальшої розробки ефективних методів біологічного очищення ґрунтів, забруднених токсичними металами.

Переваги використання соняшника для реMediaції ґрунтів полягають у наступному:

1. Висока біомаса і швидкий ріст. Соняшник формує значну вегетативну масу за порівняно короткий період вегетації (90–120 днів), що забезпечує високу здатність вилучати та накопичувати забруднюючі речовини, тим самим прискорюючи процес очищення ґрунту.

2. Глибока коренева система. Коренева система соняшника здатна проникати у глибокі шари ґрунту, забезпечуючи поглинання важких металів із нижніх горизонтів, які часто залишаються недоступними для інших культур.

3. Толерантність до важких металів і стресових умов. Соняшник демонструє високу стійкість до токсичних концентрацій важких металів, а також до абіотичних стресів, таких як посуха, що робить його оптимальним вибором для вирощування на деградованих і забруднених землях.

4. Економічна доцільність та агротехнічна простота. Як широко поширена сільськогосподарська культура, соняшник має налагоджену систему вирощування, збирання та збуту продукції, що суттєво полегшує інтеграцію фітореMediaції у практику агропромисловості.

5. Екологічна безпека. Використання соняшника виключає потребу у застосуванні агресивних хімічних

або фізичних методів очищення, що мінімізує негативний вплив на екосистему та здоров'я людини.

6. Можливість утилізації біомаси. Забруднену металами біомасу соняшника можна ефективно використовувати для виробництва біоенергії або інших промислових цілей, що підвищує загальну економічну ефективність процесу [28].

ФітореMediaція соняшником має великий потенціал як доступний та ефективний метод очищення ґрунтів, забруднених важкими металами, і відповідає сучасним екологічним викликам.

У багатьох країнах із високим рівнем індустріалізації, таких як Німеччина, Польща, Індія, Китай і США, соняшник активно досліджують і впроваджують у системи ремедіації для відновлення промислових земель та територій, забруднених внаслідок гірничодобувної діяльності. Водночас розробляються комплексні програми комбінованих фітотехнологій, які включають використання соняшника у поєднанні з іншими рослинами та мікроорганізмами, що сприяє підвищенню ефективності очищення і стабілізації екосистем [29].

Для України, країни з розвинутою сільськогосподарською традицією та численними екологічними викликами, фітореMediaція за допомогою соняшника є доступним і перспективним рішенням. Це особливо важливо для регіонів, що постраждали від військових дій, забруднення внаслідок діяльності металургійних і хімічних підприємств, а також зон із інтенсивним застосуванням агрохімікатів.

Наразі існує нагальна потреба у проведенні комплексних наукових досліджень, спрямованих на:

- вивчення локальних сортів соняшника з підвищеною здатністю накопичувати важкі метали та адаптувати їх до різних умов;
- розробку і впровадження агротехнічних практик, адаптованих до кліматичних зон України, що забезпечать максимальну ефективність фітореMediaції;
- створення безпечних і екологічно прийнятних систем утилізації металевмісної біомаси для запобігання повторному забрудненню;
- інтеграцію фітореMediaції у державні програми рекультивації земель, що сприятиме сталому екологічному відновленню територій.

Особливо перспективним є поєднання фітореMediaції з іншими інноваційними методами – зокрема, біореMediaцією за участю мікроорганізмів, застосуванням феромонних пасток для контролю шкідників та використанням нанотехнологій, що можуть підвищити сорбційну здатність рослин і прискорити процес очищення. Такі міждисциплінарні підходи відкривають нові горизонти в екологічному відновленні і підвищують ефективність комплексних систем очищення забруднених земель.

Висновки. ФітореMediaція із застосуванням соняшника є одним із найперспективніших методів біологічного очищення ґрунтів, забруднених важкими металами, завдяки своїй ефективності, екологічній безпеці та економічній доцільності. Біологічні особливості соняшника – велика біомаса, добре розвинена коренева система та здатність акумулювати токсичні елементи – роблять

його надзвичайно перспективним фітореMediaтором для деградованих територій.

Отримані результати підтверджують здатність соняшника вилучати з ґрунту такі метали, як свинець, кадмій, мідь та цинк, що є характерними забруднювачами у регіонах з високим техногенним навантаженням. Ця культура не лише поглинає метали у вегетативну масу, але й зберігає стабільні темпи росту та розвитку навіть за умов контамінації, що відкриває можливості для її використання в системах сталого землекористування.

Водночас слід відзначити, що процес фітореMediaції є тривалим і може бути недостатньо ефективним у випадках сильного забруднення або на великих площах. Для підвищення результативності доцільним є інтегрування фітореMediaції з іншими методами очищення, зокрема агротехнічними заходами, використанням органіко-мінеральних добавок, мікробних консорціумів або хімічної стабілізації металів у ґрунті. Такі комбіновані підходи можуть значно пришвидшити процес рекультивзації та зменшити ризики вторинного забруднення.

В Україні фітореMediaція має особливе значення у світлі сучасних екологічних викликів, зокрема в зоні інтенсивного промислового та сільськогосподарського використання земель, а також в зонах бойових дій, де підвищується ризик хімічного та металевого забруднення. Ширше впровадження цієї методики сприятиме відновленню родючості земель, реабілітації деградованих територій, збереженню біорізноманіття та поліпшенню якості навколишнього середовища.

Подальші наукові дослідження мають бути зосереджені на вивченні механізмів поглинання металів соняшником, оптимізації агротехнічних умов вирощування, розробці способів утилізації контамінованої біомаси та оцінці економічної ефективності фітореMediaції у різних природно-кліматичних зонах. Такі кроки сприятимуть практичному застосуванню фітотехнологій у реальних умовах та інтеграції їх у національні програми екологічного відновлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Борецька І. Ю., Джура Н. М., Романюк О. І. ФітореMediaція техногенно забруднених ґрунтів звикористанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2021. № 6. С. 72-76. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11>
2. Гуцол Г. В., Мазур О. В. Вирощування олійних культур та інтенсивність накопичення важких металів у ґрунтах за їх мінерального удобрення в умовах Вінниччини. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 1 (24). С. 217-226. DOI: [10.37128/2707-5826-2022-1-16](https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-1-16)
3. Гуцол Г. В., Мазур О. В. Інтенсивність накопичення важких металів насінням та шротом соняшнику. *Вісник Львівського національного університету природокористування «Агрономія»*. 2023. № 27. С. 41-45. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27>
4. Гуцол Г. В., Мазур О. В. Ріст та розвиток соняшнику залежно від удобрення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 1 (32). С. 62-75. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-1-6>

5. Дацько О. М., Яценко В. В. Сучасні методи ремедіації ґрунтів. Фіторемердіація як ключ до очищення ґрунтів та збереження екосистем. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 20-24. DOI:10.32848/agra.innov.2024.25.3
6. Мазур О. В. Інтенсивність накопичення важких металів вегетативною масою соняшнику на сірих лісових ґрунтах в умовах Лісостепу Правобережного. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. № 136. Ч. 2. С. 294-299. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.36>
7. Мельниченко В. В. Фіторемердіація в аспекті відновлення ґрунтів, які зазнали впливу воєнно-техногенного навантаження. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Післявоєнне відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів та продовольча безпека країни»* (м. Київ, 20–21 червня 2024 року) НУБІП України, 2024. 222 с.
8. Писаренко П. В., Диченко О. Ю., Цьова Ю. А., Середа М. С. Напрями біоремердіації техногенно забруднених ґрунтів. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 282-292. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.35>
9. Разанов С. Ф., Куценко М. І. Фіторемердіація дерново-підзолистого ґрунту за вирощування нектаропилконосних рослин в умовах Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 213-222. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025>
10. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Зуза С. І., Погромська Я. А., Зуза В. О., Панасенко Є. В., Горпинченко П. Ю. Фіторемердіація техногенно забруднених ґрунтів. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 1. С. 92-100. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272192>
11. Цицюра Я. Г., Шкатула Ю. М., Забарна Т. А., Пелех Л. В. Інноваційні підходи до фіторемердіації та фіторекультивзації у сучасних системах землеробства. Монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.
12. Hutsol G. V., Mazur O. V. Soil contamination with heavy metals and remediation measures. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 132. С. 35-47. DOI: 10.32782/2226-0099.2023.132.5
13. Hafsat Ngabra, Ibrahim A. Allamin, Haruna Yahaya Ismail, Mohammed Ngabra. Phytoremediation potential of helianthus annuus l (sunflower) for the reclamation of lead (pb) spiked soil. *World Journal of Environmental Research*. 2024. № 14 (2). P. 49-59. DOI:10.18844/wjer.v14i2.9475
14. Kamil Al-Jobori, Athar K Kadhim. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus L.*) for phytoremediation of lead contaminated soil. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2019. № 11 (3). P. 847-854.
15. Tkachuk O., Gucol G., Mazur O., Verhelis V., Titarenko O. Ecological safety of sunflower seeds in the conditions of agricultural intensification. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27 (1). P. 71-79. DOI: 10.48077/scihor1.2024.71
16. Ткачук О. П., Вергеліс В. І. Наукове обґрунтування механізму зниження вмісту важких металів у ґрунті методом фіторемердіації бобовими багаторічними травами. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 131-137. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.17>
17. Снітинський В. В., Ткачук О. П., Разанова А. М., Коруняк О. П. Ефективність фіторемердіації забрудненого важкими металами ґрунту за вирощування розторопші плямистої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 28 (1). С. 164-171. DOI: 10.37128/2707-5826-2023-1-11
18. Шкатула Ю. М., Кравець А. О. Мінеральне живлення соняшнику в агроекологічному контексті. *Аграрні інновації*. 2025. № 29. С. 227-233. DOI: <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2025.29.36>
19. Пелех Л. В., Онуфрійчук О. М. Основні технологічні заходи при вирощуванні соняшнику. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 43-49. DOI: <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2024.25.7>
20. Ткачук О. П., Бондарук Н. В. Особливості росту і розвитку соняшнику при застосуванні у його посівах біопрепаратів рістстимулюючої дії. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 2 (33). С. 154-168. DOI: 10.37128/2707-5826-2024-2-13
21. Паламарчук В. Д. Роль регуляторів росту рослин у формуванні продуктивності гібридів соняшнику. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 4 (31). С. 16-29. DOI: 10.37128/2707-5826-2023-4-2
22. Ткачук О. П., Бондарук Н. В. Фактори інтенсифікації та екологізації вирощування соняшнику. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 120-127. DOI: <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.18.17>
23. Ткачук О. П., Вергеліс В. І. Вміст білка та нітратів у зерні кукурудзи і насінні соняшнику при їх вирощуванні на схилових землях. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2022. № 1 (36). С. 21-27. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-13>
24. Мазур В. А., Колісник О. М. Вплив технологічних прийомів вирощування на насінневу продуктивність соняшнику. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 4 (23). С. 5-15.
25. Дідур І. М., Циганський В. І. Удосконалення технологічних прийомів вирощування соняшника в умовах лісостепу правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 23. С. 16-24.
26. Мазур В. А., Дідур І. М., Циганський В. І., Маламура С. В. Формування продуктивності гібридів соняшника залежно від рівня удобрення та умов зволоження. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 19. С. 208-220.
27. Вожегова Р. А., Філіп'єв І. Д., Димов О. М., Гамаюнова В. В. Визначник симптомів нестачі чи надлишку елементів живлення за зовнішніми ознаками рослин: посібник. Херсон: Айлант, 2013. 92 с.
28. Куліджанов Е. В., Голубченко В. Ф., Віляєва С. Д., Грицай Т. Л. Необхідність у моніторингу мінеральних добрив на вміст забруднюючих речовин. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 2. С. 147–151. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263330>
29. Коваленко А. Оптимізація мінерального живлення соняшнику. *Пропозиція*. 2016. № 6. С. 62–64.

REFERENCES:

1. Boretska, I.Iu., Dzhura, N.M., & Romaniuk O.I. (2021). Fitoremediatsiia tekhnohenno zabrudnennykh gruntiv z vykorystanniam enerhetychnykh kultur. [Phytoremediation of technogenically contaminated soils using energy crops]. *Ekolohichni nauky*. 6.

- 72-76. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11> [in Ukrainian].
2. Hutsol, H. V., & Mazur, O. V. (2022). Vyroshchuvannia oliinykh kultur ta intensyvnist nakopychennia vazhkykh metaliv u gruntakh za yikh mineralnogo udobrennia v umovakh Vinnychchyny. [Growing oilseed crops and the intensity of heavy metal accumulation in soils during their mineral fertilization in the conditions of Vinnytsia region]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 1 (24). 217-226. DOI: 10.37128/2707-5826-2022-1-16 [in Ukrainian].
 3. Hutsol, H. V., & Mazur, O. V. (2023). Intensyvnist nakopychennia vazhkykh metaliv nasinniam ta shrotom soniashnyku. [The intensity of accumulation of heavy metals in sunflower seeds and meal]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu pryrodokorystuvannia «Ahronomiia»*. 27. 41-45. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27> [in Ukrainian].
 4. Hutsol, H. V., & Mazur, O. V. (2024). Rist ta rozvytok soniashnyku zalezno vid udobrennia. [Growth and development of sunflower depending on fertilization]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 1 (32). 62-75. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-1-6> [in Ukrainian].
 5. Datsko, O. M., & Yatsenko, V. V. (2024). Suchasni metody remediatsii gruntiv. Fitoremediatsiia yak kliuch do ochyshchennia gruntiv ta zberezhennia ekosystem. [Modern methods of soil remediation. Phytoremediation as a key to soil purification and ecosystem preservation]. *Ahrarni innovatsii*. 25. 20-24. DOI: 10.32848/agrar.innov.2024.25.3 [in Ukrainian].
 6. Mazur, O. V. (2024). Intensyvnist nakopychennia vazhkykh metaliv vehetatyvnoi masoiu soniashnyku na sirykh lisovykh gruntakh v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho. [The intensity of accumulation of heavy metals by the vegetative mass of sunflower on gray forest soils in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky*. 136. 2. 294-299. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.36> [in Ukrainian].
 7. Melnychenko, V. V. (2024). Fitoremediatsiia v aspekti vidnovlennia gruntiv, yaki zaznaly vplyvu voienno-tekhnohennoho navantazhennia. [Phytoremediation in the aspect of soil restoration affected by military-technogenic load]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Pisliavoienne vidnovlennia gruntovykh i roslynnykh resursiv ta prodovolcha bezpeka krainy» (m. Kyiv, 20–21 chervnia 2024 roku) NUBIP Ukrainy*. 222. [in Ukrainian].
 8. Pysarenko, P. V., Dychenko, O. Yu., Tsova, Yu. A., & Sereda, M. S. (2021). Napriamy bioremediatsii tekhnohenno zabrudnennykh gruntiv. [Directions of bioremediation of technogenically contaminated soils]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 120. 282-292. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.35> [in Ukrainian].
 9. Razanov, S. F., & Kutsenko, M. I. (2025). Fitoremediatsiia dernovo-podzolistoho gruntu za vyroshchuvannia nektaropylkonosnykh roslyn v umovakh Polissia. [Phytoremediation of sod-podzolic soil for growing nectar-pollen-bearing plants in the conditions of Polissya]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychkykh nauk*. 11. 213-222. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025> [in Ukrainian].
 10. Samokhvalova, V. L., Fatieiev, A. I., Zuza, S. I., Pohromska, Ya. A., Zuza, V. O., Panasenko, Ye. V., & Horpynchenko, P. Yu. (2015). Fitoremediatsiia tekhnohenno zabrudnennykh gruntiv. [Phytoremediation of technogenically contaminated soils]. *Ahroekolohichnyi zhurnal*. 1. 92-100. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272192> [in Ukrainian].
 11. Tsytsiura, Ya. H., Shkatula, Yu. M., Zabarna, T. A., & Pelekh, L. V. (2022). Innovatsiini pidkhody do fitoremediatsii ta fitorekultyvatsii u suchasnykh systemakh zemlerobstva. Monohrafiia. [Innovative approaches to phytoremediation and phytorecultivation in modern agricultural systems. Monograph]. Vinnytsia: TOV «Druk». 1200. [in Ukrainian].
 12. Hutsol, G. V., & Mazur, O. V. (2023). Soil contamination with heavy metals and remediation measures. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky*. 132. 35-47. DOI: 10.32782/2226-0099.2023.132.5 [in Ukrainian].
 13. Hafsat Ngabra, Ibrahim, A. Allamin, Haruna Yahaya Ismail, & Mohammed Ngabra. (2024). Phytoremediation potential of helianthus annuus l (sunflower) for the reclamation of lead (pb) spiked soil. *World Journal of Environmental Research*. 14 (2). 49-59. DOI:10.18844/wjer.v14i2.9475 [in Indian].
 14. Kamil Al-Jobori, & Athar, K. Kadhim. (2019). Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) for phytoremediation of lead contaminated soil. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 11 (3). 847-854. [in Indian].
 15. Tkachuk, O., Gucol, G., Mazur, O., Verhelis, V., & Titarenko, O. (2024). Ecological safety of sunflower seeds in the conditions of agricultural intensification. *Scientific Horizons*. 27 (1). 71-79. DOI: 10.48077/sci-hor1.2024.71 [in Ukrainian].
 16. Tkachuk, O. P., & Verhelis, V.I. (2023). Naukove obgruntuvannia mekhanizmu znyzhennia vmistu vazhkykh metaliv u grunti metodom fitoremediatsii bobovymy bahatorichnymy travamy. [Scientific substantiation of the mechanism of reducing the content of heavy metals in the soil by phytoremediation with perennial leguminous grasses]. *Ekolohichni nauky*. 4 (49). 131-137. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.17> [in Ukrainian].
 17. Snitynskyi, V. V., Tkachuk, O. P., Razanova, A. M., & Koruniak, O. P. (2023). Efektyvnist fitoremediatsii zabrudnenoho vazhkymy metalamy gruntu za vyroshchuvannia roztoropshi pliamystoi. [Efficiency of phytoremediation of soil contaminated with heavy metals during the cultivation of milk thistle]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 28 (1). S. 164-171. DOI: 10.37128/2707-5826-2023-1-11 [in Ukrainian].
 18. Shkatula, Yu. M., & Kravets, A. O. (2025). Mineralne zhyvlennia soniashnyku v ahroekolohichnomu konteksti. [Mineral nutrition of sunflower in an agroecological context]. *Ahrarni innovatsii*. 29. 227-233. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.36> [in Ukrainian].
 19. Pelekh, L. V., & Onufriichuk, O. M. (2024). Osnovni tekhnolohichni zakhody pry vyroshchuvani soniashnyku. [Main technological measures for growing sunflower]. *Ahrarni innovatsii*. 25. 43-49. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.7> [in Ukrainian].
 20. Tkachuk, O. P., & Bondaruk, N. V. (2024). Osoblyvosti rostu i rozvytku soniashnyku pry zastosuvanni u yoho posivakh biopreparativ riststymuliuiuchoi dii.

- [Peculiarities of growth and development of sunflower when using growth-stimulating biological products in its crops]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2 (33). 154-168. DOI: 10.37128/2707-5826-2024-2-13 [in Ukrainian].
21. Palamarchuk, V. D. (2023). Rol rehulatoriv rostu roslyn u formuvanni produktyvnosti hibrydiv soniashnyku. [The role of plant growth regulators in shaping the productivity of sunflower hybrids]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 4 (31). 16-29. DOI:10.37128/2707-5826-2023-4-2 [in Ukrainian].
 22. Tkachuk, O. P., & Bondaruk, N. V. (2023). Faktory intensyfikatsii ta ekolohizatsii vyroshchuvannia soniashnyku. [Factors of intensification and ecologization of sunflower cultivation]. *Ahrarni innovatsii*. 18. 120-127. DOI: <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2023.18.17> [in Ukrainian].
 23. Tkachuk, O. P., & Verhelis, V. I. (2022). Vmist bilka ta nitrativ u zerni kukurudzy i nasinni soniashnyku pry yikh vyroshchuvanni na skhylovykh zemliakh. [Protein and nitrate content in corn grains and sunflower seeds when grown on sloping lands]. *Podil'skyi visnyk: sil'ske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. 1 (36). 21-27. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-13> [in Ukrainian].
 24. Mazur, V. A., & Kolisnyk, O. M. (2021). Vplyv tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia na nasinnievu produktyvnist soniashnyku. [The influence of technological cultivation methods on sunflower seed productivity]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 4 (23). 5-15. [in Ukrainian].
 25. Didur, I. M., & Tsyhanskyi, V. I. (2021). Udoskonalennia tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia soniashnyka v umovakh lisostepu pravoberezhnoho. [Improving technological methods of growing sunflower in the conditions of the right-bank forest-steppe]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 23. 16-24. [in Ukrainian].
 26. Mazur, V. A., Didur, I. M., Tsyhanskyi, V. I., & Malamura, S. V. (2020). Formuvannia produktyvnosti hibrydiv soniashnyka zalezchno vid rivnia udobrennia ta umov zvolozhennia. [Formation of productivity of sunflower hybrids depending on the level of fertilization and moisture conditions]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 19. 208-220. [in Ukrainian].
 27. Vozhehova, R. A., Filip'iev, I. D., Dymov, O. M., & Hamaiunova, V. V. (2013). Vyznachnyk symptomiv nestachi chy nadlyshku elementiv zhyvlennia za zovnishnimy oznakamy roslyn: posibnyk. [Determinant of symptoms of deficiency or excess of nutrients by external signs of plants: manual]. Kherson: Ailant. 92. [in Ukrainian].
 28. Kulidzhanov, E. V., Holubchenko, V. F., Viliaieva, S. D., & Hrytsai, T. L. (2022). Neobkhdnist u monitorynhu mineralnykh dobryv na vmist zabrudniuuchykh rehovyn. [The need for monitoring mineral fertilizers for the content of pollutants]. *Ahroekolohichnyi zhurnal*. 2. 147-151. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263330> [in Ukrainian].
 29. Kovalenko, A. (2016). Optymizatsiia mineralnogo zhyvlennia soniashnyku. [Optimization of mineral nutrition of sunflower]. *Propozytsiia*. 6. 62-64. [in Ukrainian].
- Мазур О.В. Наукове обґрунтування доцільності використання соняшнику (*helianthus annuus* L.) для фітореMediaції ґрунтів, забруднених важкими металами.**
- Проблема забруднення ґрунтів важкими металами набуває дедалі більшої актуальності в умовах інтенсивного розвитку промисловості, аграрного сектору, видобутку корисних копалин, а також унаслідок військових дій. Важкі метали, зокрема свинець (Pb), кадмій (Cd), цинк (Zn) та мідь (Cu), мають здатність накопичуватися у ґрунтах, мігрувати в екосистемах, завдавати шкоди біорізноманіттю та представляти серйозну загрозу для здоров'я людини й безпеки харчових ланцюгів. Це зумовлює нагальну потребу у впровадженні ефективних, екологічно безпечних і економічно обґрунтованих технологій очищення ґрунтів. Одним із таких природоорієнтованих рішень є фітореMediaція – метод відновлення земель за допомогою рослин.
- Метою статті є аналіз фітореMediaційного потенціалу соняшника (*Helianthus annuus* L.) для очищення ґрунтів, забруднених важкими металами, з урахуванням біологічних особливостей культури та перспектив її використання в умовах України.
- Методи дослідження включають аналіз сучасної наукової літератури, узагальнення даних щодо морфо-фізіологічних властивостей соняшника та розгляд основних механізмів фітореMediaції: фітоекстракції, фітостабілізації та фітovolатилізації.
- Показано здатність соняшника ефективно поглинати важкі метали та накопичувати їх у вегетативній масі без суттєвого зниження показників росту. Підкреслено важливість правильного вибору сортів, агротехнічних прийомів і контролю за екологічними ризиками.
- Наукова новизна роботи полягає у систематизації знань про механізми взаємодії соняшника з важкими металами та його здатність до очищення різних типів ґрунтів.
- Практична значущість полягає у можливості використання соняшника як доступного та ефективного біологічного засобу реMediaції забруднених земель, що відкриває нові можливості для відновлення екосистем, збереження родючості ґрунтів та підвищення екологічної безпеки територій.
- Ключові слова:** соняшник, фітореMediaція ґрунтів, важкі метали, забруднення довкілля, екологічна безпека.
- Mazur O.V. Scientific substitution of the feasibility of using sunflower (*helianthus annuus* L.) For phytoremediation of soils contaminated with heavy metals.**
- The problem of soil contamination with heavy metals is becoming increasingly relevant in the context of intensive industrial development, the agricultural sector, mineral extraction, and military operations. Heavy metals, in particular lead (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn) and copper (Cu), have the ability to accumulate in soils, migrate in ecosystems, damage biodiversity and pose a serious threat to human health and food chain safety.
- This situation necessitates the implementation of effective, environmentally friendly, and economically viable soil remediation technologies. One such nature-based solution

is phytoremediation – a method of land restoration using plants.

The aim of this article is to analyze the phytoremediation potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) for the remediation of soils contaminated with heavy metals, taking into account the biological characteristics of the species and the prospects for its application in Ukraine.

The research methods include the analysis of current scientific literature, generalization of data on the morphological and physiological properties of sunflower, and examination of the main phytoremediation mechanisms: phytoextraction, phytostabilization, and phytovolatilization.

The results demonstrate that sunflower can effectively absorb heavy metals and accumulate them in its vegetative biomass without significantly reducing growth rates. The

importance of selecting appropriate sunflower varieties, optimizing agronomic practices, and monitoring environmental risks is highlighted.

The scientific novelty of the study lies in the systematization of knowledge regarding the mechanisms of sunflower interaction with heavy metals and its capacity to remediate various types of contaminated soils.

The practical significance of the research is based on the potential use of sunflower as an accessible and effective biological tool for the remediation of polluted lands, offering new opportunities for ecosystem restoration, soil fertility preservation, and enhancement of environmental safety.

Key words: sunflower, phytoremediation, soil remediation, heavy metals, environmental pollution, environmental safety.

Дата першого надходження статті до видання: 11.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 06.05.2026