e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

ENSURING TECHNOLOGICAL SAFETY OF LAND OCCUPIED BY UNAUTHORISED LANDFILLS USING BIORECLAMATION METHODS

V. Fedoniuk*, S. Pankevych, M. Fedoniuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Key words:
Volyn Oblast, bioremediation, phytoremediation, unauthorised landfill, phytoremediant, environmental assessmen

Article history:
Received 11.09.2026
Reviewed 29.09.2026
Approved 30.10.2026

Corresponding author:*
ecolutsk@gmail.com

ABSTRACT

This study analyses current patterns in the formation, development, localisation, spatial distribution, structure and characteristic features of unauthorised rubbish dumps in local communities in the Volyn Oblast of Ukraine. It reveals the main mechanisms behind their emergence, their typical morphological composition and the specifics of their territorial distribution. It identifies the key environmental problems caused by the increase in the number of unauthorised rubbish dumps in the Volyn Oblast, and explores effective ways of addressing them. One of the promising approaches identified is the application of bioremediation methods, specifically the method of phytoremediation, to restore disturbed and contaminated land that was previously used as landfill sites or has suffered their adverse effects.

A set of graphical materials (diagrams, tables) has been compiled, providing a comprehensive overview of the current state of the environmental problem under investigation within the territory of the Volyn region. The significance of the phytoremediation method as a component of a system of environmental protection measures aimed at ensuring the region's technological safety and minimising the negative consequences of the operation of unauthorised landfill sites has been analysed. Information has been summarised regarding the natural-landscape and socio-economic factors influencing the emergence and spatial spread of unauthorised landfill sites in the region. Priority areas have been identified for the development of measures to improve the environmental condition of land degraded as a result of unauthorised landfill sites or their adjacent impact. Practical recommendations have been put forward aimed at ensuring environmental safety and reducing the negative impact of these anthropogenic environmental factors on the environment.

DOI: 10.36910/acm.vi52.2327

To cite this article:
Fedoniuk, V., Pankevych, S. & Fedoniuk, M. (2026). Ensuring technological safety of land occupied by unauthorised landfills using bioreclamation methods. *Agricultural Machines*, *52*, 51-61. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2327

e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

УДК 622.693.26:504.53.062

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ЗЕМЕЛЬ, ЗАЙНЯТИХ НЕСАНКЦІОНОВАНИМИ СМІТТЄЗВАЛИЩАМИ, МЕТОДАМИ БІОРЕКУЛЬТИВАЦІЇ

В.В. Федонюк*, С.Г. Панькевич, М.А. Федонюк

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Ключові слова:
Волинська область, біорекультивація, фіторемедіація, стихійне сміттєзвалище, фіторемедіант, екологічна оцінка

Історія публікації:
Отримано 11.09.2026
Прорецензовано 29.09.2026
Затверджено до друку 30.10.2026

****Автор для листування:***
ecolutsk@gmail.com

АНОТАЦІЯ

У дослідженні проаналізовано сучасні закономірності формування, розвитку, локалізації, просторового поширення, структури й характерних особливостей стихійних сміттєзвалищ у територіальних громадах Волинської області України. Розкрито основні механізми їх виникнення, типовий морфологічний склад та специфіку територіального розміщення. Встановлено ключові екологічні проблеми, зумовлені зростанням кількості несанкціонованих сміттєзвалищ у Волинській області, а також здійснено пошук ефективних шляхів їх вирішення. Одним із перспективних напрямів визначено застосування біорекультиваційних методів, а саме – методу фіторемедіації для відновлення порушених і забруднених земель, які певний час використовувалися під сміттєзвалища або зазнали їх негативного впливу.

Сформовано комплекс графічних матеріалів (схеми, таблиць), що всебічно характеризують сучасний стан досліджуваної екологічної проблеми в межах території Волинської області. Проаналізовано значення методу фіторемедіації як складової системи природоохоронних заходів, спрямованих на забезпечення техногенної безпеки регіону і мінімізацію негативних наслідків функціонування стихійних сміттєзвалищ. Узагальнено інформацію щодо природно-ландшафтних і соціально-економічних чинників, які впливають на виникнення та просторове поширення стихійних сміттєзвалищ у регіоні. Визначено пріоритетні напрями розроблення заходів з оптимізації екологічного стану земель, порушених унаслідок розміщення несанкціонованих сміттєзвалищ або їх суміжного впливу. Запропоновано практичні рекомендації, спрямовані на забезпечення екологічної безпеки та зменшення негативного впливу зазначених антропогенних екологічних чинників на довкілля.

DOI: 10.36910/acm.vi52.2327

Цитувати цю статтю:
Федонюк, В. В., Панькевич, С. Г., & Федонюк, М. А. (2026). Забезпечення техногенної безпеки земель, зайнятих несанкціонованими сміттєзвалищами, методами біорекультивації. *Сільськогосподарські машини*, *52*, 51-61. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2327

СТАН ПИТАННЯ ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

На сучасному етапі суспільного розвитку дедалі більше загострюються екологічні проблеми, зумовлені інтенсивним антропогенним впливом на природне середовище. Одним із найбільш помітних проявів цього процесу є постійне зростання обсягів утворення твердих побутових відходів (далі – ТПВ) і збільшення кількості несанкціонованих місць їх накопичення та захоронення. В Україні ця проблема особливо відчутна на регіональному та місцевому рівнях, де значна частина відходів розміщується без дотримання вимог природоохоронного законодавства. На території Волинської області функціонування стихійних сміттєзвалищ створює суттєві ризики для стану ґрунтового покриву, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, природних екосистем та здоров'я населення. Такі об'єкти виступають осередками накопичення небезпечних забруднювачів, зокрема важких металів, нафтопродуктів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів та інших токсичних сполук, здатних поширюватися у природних компонентах і формувати довготривалі зони техногенного забруднення.

У сучасних умовах реалізації засад сталого розвитку, визначених міжнародними нормативними документами, зокрема Цілями сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй, законодавством України (*Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», 1991; Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», 2019; Закон України «Про управління відходами», 2023*), а також у контексті євроінтеграційного курсу України, який передбачає гармонізацію національного природоохоронного законодавства з європейськими стандартами, особливого значення набуває впровадження екологічно безпечних і ресурсо-ефективних технологій відновлення деградованих територій (*Домусчи та ін., 2025*). Одним із найбільш перспективних природо-орієнтованих напрямів є біорекультивація – комплекс заходів, спрямованих на відновлення екологічних властивостей порушених або забруднених земель шляхом використання живих організмів, насамперед рослин, або мікроорганізмів і ґрунтової біоти, для поліпшення фізичних, хімічних та біологічних характеристик ґрунту, зниження концентрації забруднювальних речовин, відновлення природних біогеохімічних процесів і забезпечення повернення територій до екологічно безпечного та господарськи придатного стану (*Малишева, 2007, Федонюк та ін., 2016*). Одним із підвидів біорекультивації, який називають найбільш природо-орієнтованим, є фіторемедіація – комплекс методів очищення забруднених ґрунтів (чи водного середовища) із використанням рослин та пов'язаних із ними ґрунтових мікроорганізмів (*Корсун та ін., 2014; Smith, 2018*). Порівняно з традиційними інженерними методами рекультивації цей підхід характеризується значно меншими фінансовими витратами, невисокою енергоємністю, можливістю поєднання процесів очищення із ландшафтною реабілітацією територій та підвищенням їх природної й екологічної цінності (*Петренко, 2022; Цицюра та ін., 2022*). Можливості використання методів фіторемедіації для техногенно забруднених земель досліджували у своїх працях *Корсун С. Г., Давидюк Г. В., Клименко І. І., Довбаш Н. І., Хмара Т. М. (2014), Пузняк О.М. (2008), Цицюра Я. Г., Шкатула Ю. М., Забарна Т. А., Пелех Л. В. (2022), Шевель Д.О., Дьяконов В.І. (2020).* Окремі роботи були присвячені саме аналізові можливостей використання фіторемедіації при біорекультивації сміттєзвалищ (*Петренко, 2022*). Проте для території Волинської області такі дослідження не проводилися. Водночас проблема ліквідації стихійних сміттєзвалищ та відновлення порушених земель дуже гостро стоїть у регіоні: за даними *Державної екологічної інспекції (2025*), таких сміттєзвалищ виявлено на території області понад 3000. Комплекс заходів для подолання даної проблеми передбачено *Регіональною екологічною програмою «Екологія 2023 - 2026» (2023)*, стан питання постійно висвітлюється засобами масової інформації регіонального рівня (*ЕкоРайон, 2025*).

Для Волинської області, природне середовище якої представлене значними площами сільськогосподарських угідь, лісових масивів і водно-болотних комплексів (*Федонюк та ін., 2019*), проблема деградації земель унаслідок несанкціонованого складування відходів має комплексний характер і супроводжується як екологічними, так і соціально-економічними наслідками. Забруднення ґрунтового покриву негативно позначається на продуктивності агроландшафтів, якості сільськогосподарської продукції, стані природних екосистем, біологічному різноманітті та рекреаційній привабливості території. За таких умов використання фіторемедіаційних технологій може стати одним із найбільш ефективних інструментів відновлення порушених земель, покращення екологічного стану територій та формування безпечного для населення навколишнього природного

середовища. В сучасних умовах кліматичних змін, які були детально проаналізовані для Волині у працях *Федонюк В.В., Мерленка І.М., Федонюка М.А., Линюка Р.В., Ковальчук Н.С. (2019), Мерленка І.М., Федонюк В.В., Мерленко Н.О. (2021)*, виникає потреба в оновленні методик фіторемедіації у контексті зміни сприятливості біокліматичних умов зростання окремих видів рослин-фіторемедіантів, розширенні можливостей щодо використання для таких цілей видів, раніше непритаманних для кліматичних умов зони Полісся (*Моцик та ін., 2023; Цицюра та ін., 2022; Khan et al, 2020*).

Таким чином, актуальність теми даного дослідження визначається необхідністю пошуку ефективних шляхів зменшення негативного впливу стихійних сміттєзвалищ на довкілля Волинської області, а також потребою впровадження сучасних природо-орієнтованих технологій рекультивації забруднених земель. Водночас недостатня вивченість регіональних аспектів застосування фіторемедіації, обмежена кількість науково обґрунтованих рекомендацій щодо добору видового складу рослин залежно від характеру забруднення та ґрунтово-кліматичних умов регіону, зумовлюють необхідність проведення комплексних наукових досліджень у даному напрямі.

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз та наукове обґрунтування доцільності та перспектив використання технологій біорекультивації, зокрема – фіторемедіації, для екологічного відновлення територій, порушених несанкціонованими сміттєзвалищами, а також прилеглих до них земель у межах територіальних громад Волинської області України.

Для реалізації поставленої мети було визначено наступні *завдання*:

- здійснити аналіз сучасного стану проблеми функціонування несанкціонованих сміттєзвалищ у Волинській області та оцінити їхній вплив на основні компоненти навколишнього природного середовища;
- дослідити характерні види забруднювальних речовин, властивих стихійним сміттєзвалищам, і проаналізувати особливості їх поширення та міграції у ґрунтовому середовищі;
- узагальнити теоретичні основи застосування фіторемедіаційних технологій та розкрити механізми їх функціонування, зокрема фітоекстракції, фітостабілізації, фітодеградації, ризофільтрації та інших методів;
- обґрунтувати критерії відбору рослин-фіторемедіантів з урахуванням природних, кліматичних і ґрунтових особливостей території Волинської області;
- визначити перспективність та можливу результативність використання фіторемедіаційних технологій для очищення конкретних ділянок, зайнятих несанкціонованими сміттєзвалищами;
- сформувати практичні рекомендації щодо впровадження фіторемедіаційних заходів у систему екологічного відновлення та реабілітації порушених територій.

Об'єктом дослідження є території, зайняті несанкціонованими сміттєзвалищами, а також суміжні з ними земельні ділянки, що зазнали техногенного впливу, та їх екологічний стан. *Предметом* дослідження виступають процеси фіторемедіації забруднених ґрунтів та оцінка можливостей їх практичного використання для екологічної реабілітації деградованих територій.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для виконання поставлених завдань було застосовано аналітичні методи збору інформації і вивчення географії розміщення, типів та особливостей екологічного стану територій стихійних сміттєзвалищ та прилеглих земельних ділянок в межах територіальних громад Волинської області, метод експертних оцінок, методи порівняння і аналогії, методи аналізу та моделювання екологічної ситуації з метою оцінки перспектив оптимізації екологічного стану території дослідження.

Було проведено аналіз та статистичну оцінку інформації у ЗМІ, в соцмережах та інших відкритих джерелах (оприлюднені звіти державних органів, територіальних громад, тощо), яка стосувалася актуальності проблеми виявлення та ліквідації стихійних сміттєзвалищ у Волинській області протягом 5 років (2021 – 2025 рр.), зібрано та узагальнено відповідні статистичні показники.

Результати аналізу представлені графічно, для чого використовувалися стандартні інструменти математично-статистичного і графічного аналізу у програмі Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Поширення стихійних (несанкціонованих) сміттєзвалищ в Україні є однією з найсерйозніших екологічних проблем, що відображає системні недоліки у сфері управління твердими побутовими відходами. На відміну від офіційних полігонів, діяльність яких здійснюється відповідно до вимог природоохоронного законодавства та перебуває під державним екологічним наглядом, несанкціоновані місця накопичення відходів виникають поза межами організованої системи збору, транспортування, оброблення та захоронення. Це призводить до істотного зростання екологічних ризиків, погіршення санітарно-гігієнічного стану територій і негативного впливу на навколишнє природне середовище. Відповідно до даних *Державної екологічної інспекції (2025),* у державі щорічно утворюється близько 10–12 млн. тон твердих побутових відходів, понад 90 % яких видаляється шляхом захоронення на полігонах і сміттєзвалищах. Разом із тим значний обсяг відходів не охоплюється офіційною системою поводження та потрапляє до несанкціонованих місць складування. Найчастіше такі звалища виникають у лісових масивах і лісосмугах, вздовж автомобільних доріг, у балках і ярах, на заплавних територіях річок, а також на периферії населених пунктів. За експертними оцінками *Державної екологічної інспекції (2025)*, щороку на території країни фіксується від 20 до 30 тисяч нових випадків утворення стихійних сміттєзвалищ різної площі та обсягу накопичених відходів. Їх загальна площа через відсутність повного обліку та постійну зміну кількості залишається невизначеною, однак, за попередніми оцінками, сягає кількох тисяч гектарів. Особливо гострою є ця проблема у сільській місцевості та невеликих громадах, де відсутня інфраструктура збору ТПВ. Рівень централізованого вивезення побутових відходів у містах України становить понад 80 %, тоді як у сільській місцевості цей показник часто не перевищує 40–50 % (*Цицюра та ін., 2022*). У таких умовах населення змушене самостійно вирішувати проблему утилізації сміття, що нерідко призводить до формування стихійних звалищ. Отже, проблема стихійних сміттєзвалищ має системний характер, поєднуючи екологічні, економічні та соціальні ризики. Її вирішення є необхідною передумовою забезпечення екологічної безпеки і формування засад сталого розвитку територій, у тому числі на регіональному рівні.

Регіонально спостерігається значна неоднорідність у розподілі стихійних звалищ по території України. Найбільша їх кількість виявлена у Дніпропетровській області (5 987 об’єктів); Київській області (4 762 об’єкти); Одеській області (3 891 об’єкт); Львівській області (3 544 об’єкти) та Харківській області (3 112 об’єктів). Найменше в Україні зафіксовано стихійних звалищ у Чернігівській області (1 112 об’єктів) та у Херсонській області – 1 027 об’єктів (*Цицюра та ін., 2022*).

Волинська область належить до регіонів із середнім значенням даного показника, кількість стихійних сміттєзвалищ складає близько 3 000 об’єктів (*Державна екологічна інспекція, 2025*).

Структура ТПВ на стихійних звалищах відрізняється від офіційних полігонів. Це пов’язано із тим, що значну частину сміття складають великогабаритні та небезпечні відходи. Особливу екологічну небезпеку представляють побутові батарейки, люмінесцентні лампи, побутова техніка та електроніка, що містять важкі метали (ртуть, кадмій, свинець) та інші небезпечні сполуки. Концентрація кадмію в ґрунтах поблизу таких звалищ перевищує 3–5 ГДК, концентрація свинцю складає до 4–6 ГДК, що значно перевищує нормативні показники для сільськогосподарських земель (*Петренко, 2022*).

У Волинській області несанкціоновані сміттєзвалища поширені як у межах населених пунктів, так і за їх межами. Найчастіше вони формуються вздовж автомобільних доріг місцевого значення, у лісосмугах, на прибережних територіях водойм, а також поблизу приватної забудови та присадибних земельних ділянок. Відповідно до результатів обстежень *Державної екологічної інспекції (2025),* проведених упродовж 2023–2024 років, у Луцькому районі (без урахування території міста Луцька) було виявлено близько 1 102 місць несанкціонованого накопичення твердих побутових відходів, що становить приблизно 31,7 % їх загальної кількості в області. У Володимирському районі зафіксовано 1 170 таких об'єктів (29,6 %), у Ковельському – 840 (25,2 %), тоді як у Камінь-Каширському районі їх було виявлено 429, або близько 13,5 % від загальнообласного показника. Для Волинської області притаманно переважання стихійних сміттєзвалищ у сільській місцевості, на які припадає близько 68–72 % їх загальної кількості. Така ситуація значною мірою зумовлена недостатнім охопленням сільських населених пунктів централізованими послугами зі збирання та вивезення відходів, а також домінуванням індивідуальної житлової забудови. Водночас проблема несанкціонованого складування відходів залишається актуальною і для найбільших міст (Луцька, Володимира, Нововолинська,

Ковеля). Серед основних причин проблеми – недостатній розвиток системи роздільного збирання відходів, обмежені потужності переробки та невисокий рівень екологічної свідомості населення. Водночас природні умови регіону, просторові та сезонні чинники також сприяють акумуляції забруднюючих речовин: торф'яні ґрунти мають характерні фізико-хімічні властивості, що дозволяють фільтрату швидше мігрувати у нижні горизонти ґрунту при підтопленнях весняною повінню чи після тривалих дощів. У весняно-літній період спостерігається найбільше зростання ризиків переносу забруднювачів у водні об'єкти (Стир, Турія, Прип'ять та ін.), що є важливим фактором, оскільки значна частина таких водойм використовується для господарсько-побутових потреб населення.

З метою оцінки сучасного стану проблеми стихійних сміттєзвалищ у Волинській області проведено моніторинг інформаційних матеріалів відкритих джерел, оприлюднених упродовж 2021–2025 років. Під час дослідження було проаналізовано повідомлення засобів масової інформації, публікації у соціальних мережах, а також відомості з інших ресурсів (офіційні звіти органів державної влади, місцевого самоврядування, територіальних громад та інше). Узагальнення результатів проведеного аналізу дало змогу систематизувати отримані дані (див. табл. 1). Результати вказують на актуальність виявлення та ліквідації несанкціонованих сміттєзвалищ на території регіону.

Таблиця 1. Аналіз даних відкритих джерел про появу стихійних сміттєзвалищ у Волинській області, виявлених протягом періоду 2020 – 2025 рр.

№	Джерело інформації	Кількість інформаційних повідомлень	Суб'єкти інформації (державні установи, органи управління та регулювання, громадські організації, навчальні та наукові заклади, громади, окремі громадяни)
1	Засоби масової інформації (преса, новинні веб-сайти, телебачення)	211	Редакції ЗМІ, Державна екологічна інспекція у Волинській області, фахівці органів і установ державного екологічного управління, представники територіальних громад, наукові експерти, окремі громадяни
2	Соціальні мережі (фейсбук, інстаграм, ютуб)	495	Окремі громадяни, територіальні громади, тематичні та територіальні об'єднання громадян, громадські організації, природоохоронні, лісогосподарські установи
3	Інше (аналітика, звіти, оголошення, тендери)	36	Державні установи, територіальні громади, органи державного екологічного управління

Відповідно до статей 20, 21 *Закону України «Про управління відходами» (2023),* обов'язки щодо забезпечення ліквідації несанкціонованих і неконтрольованих звалищ відходів, здійснення контролю за діяльністю об'єктів поводження з відходами, складання й ведення реєстру об'єктів утворення відходів та видача дозволів на здійснення операцій у сфері поводження з відходами покладено на районні та обласні державні адміністрації та органи місцевого самоврядування (громади). Після їх ліквідації – постає питання екологічної безпеки та придатності земель до подальшого використання.

Екологічно найдоцільнішим методом очищення порушених стихійними сміттєзвалищами земель є їх біорекультивація та, зокрема, фіторемедіація. Фіторемедіація є сучасною природо-орієнтованою технологією очищення компонентів довкілля, яка ґрунтується на використанні рослин для видалення, накопичення, трансформації або локалізації забруднювальних речовин у ґрунті, водному середовищі та атмосферному повітрі. Завдяки екологічній безпечності, високій ефективності та порівняно невеликим економічним витратам цей метод вважається одним із найбільш перспективних підходів до відновлення територій, забруднених токсичними сполуками різного походження. На сучасному етапі розвитку технологій захисту довкілля фіторемедіація належить до найбільш екологічно збалансованих способів ренатуралізації порушених екосистем. Вона базується на природній здатності рослин поглинати, накопичувати, трансформувати або знешкоджувати токсиканти, що надходять із навколишнього середовища, акумулюючи їх або переводячи у менш небезпечні форми. Використання цього механізму забезпечує ефективне очищення забруднених ґрунтів, водних об'єктів і, в окремих

випадках, атмосферного повітря, водночас істотно скорочуючи потребу в застосуванні енергоємних технічних рішень, агресивних хімічних реагентів та масштабному антропогенному втручанні.

Класифікація рослин – фіторемедіантів, складена на основі аналізу наукових джерел, подана у таблиці 2. В Україні впровадження фіторемедіаційних технологій для розв'язання екологічних проблем, пов'язаних із біоконверсією несанкціонованих сміттєзвалищ, наразі обмежується низкою чинників. Одним із головних є необхідність науково обґрунтованого добору рослин-фіторемедіантів, здатних ефективно функціонувати в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах певних регіонів, або інтродукції перспективних видів із подальшим вивченням їх адаптаційних можливостей, екологічної пластичності та ефективності очищення забруднених територій.

Таблиця 2. Групи рослин – фіторемедіантів та напрямки їх застосування.

Група рослин	Біологічний вид	Полютанти, що поглинаються	Механізм фіторемедіації	Специфіка використання
Гіперакумулятори	Brassica juncea (гірчиця індійська)	Свинець, кадмій, нікель	Фітоекстракція	Накопичує токсини у листках і стеблах, ефективна для промислових ґрунтів
	Thlaspi caerulescens	Цинк, кадмій		Високий рівень накопичення металів, використовується на забруднених територіях
Стабілізатори ґрунту	Populus spp. (тополя)	Свинець, кадмій, органіка	Фітостабілізація	Закріплює ґрунт, зменшує ерозію, створює зелені смуги
	Salix spp. (верба)	Свинець, кадмій, органіка		Використовується для стабілізації схилів та берегів водойм
Ризофільтратори (переважно водні рослини)	Eichhornia crassipes (водяний гіацинт)	Свинець, кадмій, нітрати, фосфати	Ризофільтрація	Ефективно очищає стічні води, швидко росте, потребує контролю збору
	Lemna minor (ряска малолиста)	Свинець, кадмій, нітрати, фосфати		Використовується у ставках та басейнах для очищення води
Біоконверсори органіки	Phragmites australis (тростина звичайна)	Нафтопродукти, органічні забруднювачі	Фітодетоксикація	Біоконверсори органіки
	Miscanthus spp. (мискантус)	Органіка		

В результаті проведеного дослідження розроблено рекомендовані заходи щодо застосування фіторемедіаційних технологій для екологічної реабілітації територій стихійних сміттєзвалищ у Волинській області, що складаються з ряду послідовних етапів: 1) проведення комплексного попереднього обстеження території. На початковому етапі доцільно виконати оцінку екологічного стану ділянки, що включатиме геохімічне дослідження ґрунтів, поверхневих і стічних вод з метою визначення основних видів забруднювальних речовин, зокрема важких металів, органічних токсикантів, пестицидів та мікропластику. Важливо також провести топографічне й ґрунтове картографування території, що дозволить локалізувати осередки максимального накопичення забруднювачів, оцінити інтенсивність ерозійних процесів і визначити найбільш уразливі ділянки. За результатами досліджень необхідно оцінити потенційні ризики для населення, природних екосистем і компонентів довкілля та сформувати екологічний паспорт об'єкта; 2) вибір рослин-фіторемедіантів, залежно від оцінки характеру забруднення. Для очищення ґрунтів від важких металів доцільно використовувати рослини-гіперакумулятори, зокрема Brassica juncea (гірчицю індійську), ефективну щодо накопичення сполук свинцю й кадмію, а також Thlaspi caerulescens, яка характеризується високою здатністю акумулювати цинк. Для очищення забруднених фільтратів і стічних вод рекомендується застосовувати рослини-ризофільтратори, наприклад Eichhornia crassipes (водяний

гіацинт) та Lemna minor (ряску малу). На ділянках, де існує небезпека розвитку ерозійних процесів, доцільно висаджувати види, що забезпечують ефективне закріплення ґрунту та обмежують поширення пилу й токсичних речовин, зокрема представників родів Populus (тополі), Salix (верби) і Phragmites australis (тростина звичайна). Для прискорення біодеградації органічних забруднювачів та залишків нафтопродуктів доцільно використовувати Phragmites australis і представників роду Miscanthus, які стимулюють розвиток ґрунтової мікробіоти та активізують процеси мікробіологічного розкладання органічних сполук; 3) удосконалення технології впровадження фіторемедіаційних заходів. Максимальна ефективність очищення досягається за умови створення багатоярусних рослинних насаджень, у яких поєднуються види, здатні акумулювати забруднювачі, із рослинами, що стабілізують ґрунтовий покрив. Навколо сміттєзвалища доцільно формувати захисні зелені смуги, які виконуватимуть функцію природного бар'єра для перенесення пилу та токсичних речовин на прилеглі території. Необхідною умовою ефективного розвитку рослин є підтримання оптимального водного режиму шляхом застосування систем зрошення або мульчування поверхні ґрунту. Важливим елементом технології є регулярний моніторинг накопичення токсичних речовин у біомасі рослин із подальшим своєчасним їх вилученням та безпечним використанням або утилізацією, зокрема для виробництва біоенергії чи вилучення цінних металів. Доцільним є також використання мікоризних грибів і ризосферних мікроорганізмів, що підвищують поглинальну здатність рослин та прискорюють процеси трансформації органічних забруднювачів.

Запровадження технологій фіторемедіації доцільно здійснювати поетапно. На першому етапі рекомендується провести пілотні дослідження на окремій ділянці сміттєзвалища з метою оцінювання ефективності обраних видів рослин і технологічних схем їх висаджування. Після отримання позитивних результатів можливе масштабування заходів на всю площу забрудненої території. Подальша реалізація проєкту повинна супроводжуватися моніторингом вмісту забруднювальних речовин у ґрунтах і водах, аналізом ефективності застосованих рослинних угруповань та, за необхідності, коригуванням технологічних рішень. Важливою складовою є також проведення інформаційно-просвітницької роботи шляхом встановлення інформаційних стендів і поширення матеріалів, які висвітлюють екологічне значення фіторемедіаційних насаджень для місцевих громад.

З урахуванням природно-кліматичних особливостей Волинської області, яка розташована в зоні мішаних лісів і характеризується переважанням дерново-підзолистих ґрунтів, достатнім зволоженням та помірним кліматом, доцільним є використання комплексної фіторемедіаційної технології із залученням рослин різних екологічних груп. Серед деревних порід найбільш перспективними є верба прутовидна (Salix viminalis) і тополя чорна (Populus nigra), що відзначаються інтенсивною транспірацією та високою здатністю акумулювати важкі метали шляхом фітоекстракції. Як трав'янисті фіторемедіанти рекомендується застосовувати міскантус гігантський (Miscanthus giganteus) і гірчицю білу (Sinapis alba), які добре витримують вплив токсичних речовин, швидко формують густий рослинний покрив і ефективно захищають поверхню ґрунту від ерозійних процесів. Для цільового вилучення окремих небезпечних забруднювачів доцільно використовувати рослини-акумулятори, зокрема соняшник однорічний (Helianthus annuus), який характеризується високою ефективністю щодо накопичення свинцю та окремих радіонуклідів.

Для підвищення ефективності очищення забруднених територій запропоновано застосовувати ярусно-блокову модель створення фіторемедіаційних насаджень (див. рис. 1). По зовнішньому периметру сміттєзвалища доцільно висаджувати вербу у три-чотири ряди з орієнтовною схемою розміщення 0,5 × 1,5 м. Такі насадження виконуватимуть функцію біологічного бар'єра, стримуючи поширення пилу та зменшуючи винесення забруднювальних речовин за межі території. Центральну частину сміттєзвалища, де концентрація забруднювачів є максимальною, рекомендується засівати куничником наземним або гірчицею із підвищенням норми висіву приблизно на 20 % порівняно зі стандартною, що сприятиме швидкій стабілізації поверхні субстрату та зменшенню ризику ерозії.

На територіях, де спостерігається комплексне або неоднорідне забруднення, доцільно застосовувати комбіновану схему висаджування рослин за принципом шахового розміщення. У такому випадку саджанці тополі чергуються з кущовими формами верби, що забезпечує більш рівномірне проникнення кореневих систем у різні горизонти ґрунту та підвищує загальну ефективність вилучення забруднювальних речовин із різних шарів ґрунтового профілю.

Використання фіторемедіаційних технологій для рекультивації стихійних сміттєзвалищ Волинської області є економічно обґрунтованою альтернативою традиційним інженерним методам очищення територій. Середня вартість відновлення одного гектара забруднених земель із застосуванням фіторемедіації, що включає підготовку ділянки, придбання посадкового матеріалу енергетичної верби або тополі, висів трав'янистих культур і подальший догляд за насадженнями, становить близько 45–80 тис. грн. Для порівняння, механічне зняття забрудненого шару ґрунту, його транспортування та захоронення на спеціалізованому полігоні потребує від 400 до 650 тис. грн на аналогічну площу. Таким чином, застосування біологічного методу дає змогу скоротити витрати приблизно у 6–8 разів. Найбільша частка фінансових витрат, яка може досягати 60 % загального бюджету, припадає на перший рік реалізації заходів і пов'язана із закупівлею саджанців (наприклад, Salix viminalis за густоти посадки 10–15 тис. рослин на гектар), проведенням механізованої підготовки території та внесенням меліоративних матеріалів, зокрема вапна для нейтралізації кислотності дерново-підзолистих ґрунтів і зниження рухомості важких металів.

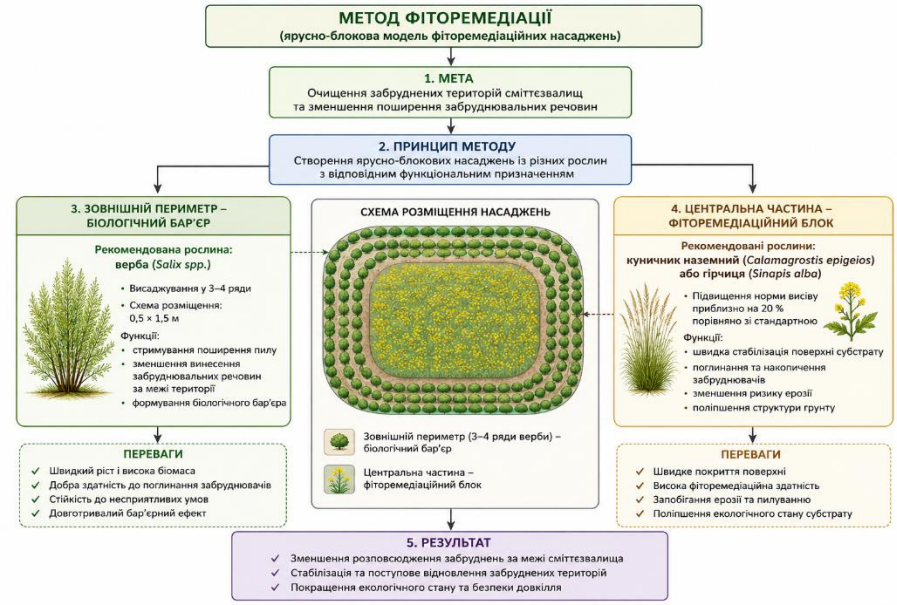


Рис. 1. Принципова схема ярусно-блокової моделі фіторемедіації земельних ділянок під стихійними сміттєзвалищами.

Найбільшу ефективність матиме технологія циклічної фіторемедіації, яка передбачає послідовне повторення декількох етапів очищення. Основною її складовою є фаза фітоекстракції, під час якої деревні рослини, зокрема верба та тополя, поглинають іони важких металів кореневою системою, після чого транспортують їх до надземних органів – пагонів і листків. Цей процес повторюється щороку або через кілька років залежно від біологічних особливостей виду, що забезпечує поступове зменшення концентрації токсичних речовин у ґрунті. Водночас принципово важливою умовою ефективності технології є своєчасне вилучення накопиченої рослинної біомаси, оскільки без її збору та подальшої утилізації забруднювачі після відмирання рослин повертаються до ґрунтового середовища.

Найбільш доцільними способами поводження із забрудненою біомасою є її термічна переробка або енергетичне використання. Ефективним варіантом є піроліз чи високотемпературне спалювання, що дає змогу одночасно отримувати теплову енергію та концентрувати важкі метали у відносно невеликій кількості попелу, який простіше утилізувати. Для умов Волинської області перспективним є також використання рослинної біомаси як біопалива у спеціалізованих котельнях, обладнаних сучасними системами очищення димових газів, або її переробка на технічні паливні пелети.

Прогнозовані результати впровадження фіторемедіації. Застосування запропонованих заходів сприятиме поступовому зменшенню концентрацій важких металів і органічних забруднювачів у верхніх горизонтах ґрунту, стабілізації поверхні земель та зниженню інтенсивності пилового перенесення токсичних речовин. Водночас очікується відновлення біологічного різноманіття завдяки

формуванню нових оселищ для рослин, комах, птахів і ґрунтових мікроорганізмів. Важливим результатом стане також підвищення естетичної цінності територій, покращення екологічного стану населених пунктів і формування більш високого рівня екологічної свідомості населення в регіоні.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження сформульовано такі основні висновки.

1. Аналіз сучасного стану сфери поводження з відходами у Волинській області засвідчив наявність значної кількості несанкціонованих місць їх накопичення, які найчастіше локалізуються на околицях міст і сільських населених пунктів, а також у межах рекреаційних територій. Найбільш небезпечними компонентами забруднення ґрунтів у межах таких об'єктів є сполуки важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu), підвищений вміст нітратів та залишки нафтопродуктів, які негативно впливають на стан підземних вод, ґрунтового покриву та функціонування місцевих екосистем.

2. З урахуванням природно-кліматичних і ґрунтових умов Волинської області, що характеризуються поширенням зони мішаних лісів, дерново-підзолистих ґрунтів, достатнім рівнем зволоження та помірним кліматом, найбільш доцільним є застосування комбінованої моделі біорекультивації, в основі якої лежатиме фіторемедіація. До складу рослин-фіторемедіантів рекомендовано включати деревні породи – вербу прутовидну (Salix viminalis) та тополю чорну (Populus nigra), які відзначаються інтенсивною транспірацією і високою здатністю до вилучення важких металів із ґрунту; серед трав'янистих рослин доцільно використовувати міскантус гігантський (Miscanthus giganteus) та гірчицю білу (Sinapis alba), що характеризуються стійкістю до токсичного впливу й швидким формуванням біомаси і дернового покриву, який ефективно захищає поверхню ґрунту від ерозійних процесів. Як рослину-акумулятор окремих забруднювачів рекомендовано застосовувати соняшник однорічний (Helianthus annuus), здатний накопичувати радіонукліди та сполуки свинцю.

3. З метою забезпечення найвищої ефективності очищення забруднених земель запропоновано використовувати ярусно-блокову систему озеленення. Зовнішній периметр доцільно формувати з трьох-чотирьох рядів верби із схемою посадки 0,5 × 1,5 м, що створює природний бар'єр для затримання пилу та запобігає міграції забруднювальних речовин. Центральну частину сміттєзвалища рекомендовано засівати куничником наземним або гірчицею білою із підвищенням норми висіву приблизно на 20 % від стандартної, що забезпечує швидку стабілізацію поверхні субстрату.

4. Для територій з комплексним характером забруднення, перспективним є використання комбінованої схеми посадки за принципом «шахового порядку», коли саджанці тополі чергуються з кущовими формами верби. Такий підхід забезпечує більш повне освоєння різних горизонтів ґрунту кореневими системами рослин та підвищує ефективність вилучення забруднювальних речовин.

5. Використання фіторемедіації для рекультивації ділянок земель, що знаходилися під стихійними сміттєзвалищами, є економічно доцільним. Середня вартість очищення одного гектара забрудненої території із застосуванням біорекультивації становить близько 45–80 тис. грн. Водночас механічне зняття забрудненого шару ґрунту з його транспортуванням і захороненням на полігоні для аналогічної площі потребує від 400 до 650 тис. грн, тобто біологічний спосіб очищення є приблизно у шість-вісім разів економічнішим. Найбільші витрати, що сягають близько 60 % загального бюджету, очікуються на початковому етапі реалізації заходів і пов'язані з придбанням саджанців (зокрема Salix viminalis) при густоті насаджень 10–15 тис. рослин на гектар, механізованою підготовкою земельної ділянки та внесенням меліоративних матеріалів, зокрема вапна, необхідного для нейтралізації кислотності дерново-підзолистих ґрунтів Волині та зменшення рухомості важких металів.

6. На відміну від звичайної консервації забруднених територій, застосування фіторемедіації дає можливість отримувати додатковий економічний ефект. Зокрема, щорічний приріст сухої біомаси енергетичної верби на таких ділянках може становити 8–12 т/га, а її використання як біопалива для котелень забезпечує повернення вкладених коштів орієнтовно протягом чотирьох-п'яти років.

7. Усунення стихійних сміттєзвалищ та поступове зменшення концентрації токсичних речовин у ґрунтовому покриві надасть можливість територіальним громадам уникнути штрафних фінансових санкцій і компенсаційних виплат за завдану шкоду довкіллю. Для одного сміттєзвалища середніх розмірів сума таких нарахувань може перевищувати 100 тис. грн.

8. Запропоновані природоохоронні заходи також матимуть вагомий соціально-економічний ефект: створення нових робочих місць у сільській місцевості, пов'язаних із закладанням і доглядом за

фіторемедіаційними насадженнями; підвищення інвестиційної привабливості Волинської області завдяки покращенню екологічного стану довкілля та відновленню природних ландшафтів.

9. Запровадження технологій фіторемедіації створює передумови не лише для ефективного очищення земель від токсичних забруднювачів, а й для повернення деградованих територій до господарського використання шляхом створення енергетичних плантацій, підвищення екологічної цінності ландшафтів та покращення загального стану навколишнього природного середовища регіону.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України // Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. С. 546. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text (дата звернення: 29.12.2025).

Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України // Відомості Верховної Ради України. 2019. № 16. С.70. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text (дата звернення: 10.04.2026).

Про управління відходами : Закон України // Відомості Верховної Ради України. 2023, № 17, ст. 75. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n802 (дата звернення: 12.04.2026).

Регіональна екологічна програма «Екологія 2023 - 2026» // Волинська державна обласна адміністрація. 2023. [Електронний ресурс]/ URL: https://voladm.gov.ua/category/regionalna-ekologichna-programa-ekologiya-2023-2026/1/ (дата звернення: 27.12.2025).

Державна екологічна інспекція у Волинській області. Офіційний сайт [Електронний ресурс] URL: https://voln.dei.gov.ua/post/285 (дата звернення: 10.11.2025).

Домусчи, С.В., & Тригуб, В.І. (2025). Негативний вплив несанкціонованих сміттєзвалищ на грунтовий покрив: оцінка та шляхи мінімізації. Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки, 1. 64 – 70.

ЕкоРайон. Новинний вебсайт [Електронний ресурс] URL: https://eco.rayon.in.ua/news/827546-nesanktsionovani-smittezvalishcha-viyavili-v-olitskiy-gromadi (дата звернення: 17.12.2025).

Корсун, С. Г., Давидюк, Г. В., Клименко, І. І., Довбаш, Н. І., & Хмара, Т. М. (2014). Спосіб фіторемедіації сільськогосподарських земель, забруднених важкими металами. Землеробство, 1 – 2. 51 – 53.

Малишева, Л.Л. (2007). Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану території: Монографія. К.: РВЦ "Київський університет". 246.

Мерленко, І.М., Федонюк, В.В., & Мерленко, Н.О. (2021). Адаптація до сучасних кліматичних змін агрономічних технологій в Північно-Західному Поліссі. Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення: Збірник наукових праць IV Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 10-11 червня 2021 року. Херсон: ДВНЗ «ХДАУ». 228 – 230.

Моцик, В.Б., Цюх, Я.О., & Федонюк, В.В. (2023). Оцінка екологічного стану природоохоронних територій методами біоіндикації. Екологія, природокористування та охорона навколишнього середовища: прикладні аспекти: матеріали VI Всеукр. наук.-практ. заоч. конф., м. Київ, 16 травня 2023 р. / за заг. ред. Х.С. Мітюшкіної. Київ: МДУ. 24 – 27.

Петренко, В. Г. (2022). Фіторемедіація як метод рекультивації ґрунтів після впливу сміттєзвалищ. Науковий вісник екології та агробіології. 2 (3). 45 – 53.

Пузняк, О.М. (2008). Екологічна оцінка відновлювальних систем удобрення на токсичних дерново-підзолистих супіщаних грунтах західного Полісся України. Вісник ДАУ. Житомир. 108 – 110.

Федонюк, В.В., Волянський, В.О., & Федонюк, М.А. (2016). Порівняльний економічний аналіз проведення рекультивації різних видів на порушених землях. Актуальні проблеми економіки. 9. 203 – 212. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2016_9_26 (дата звернення: 24.05.2026).

Федонюк, В.В. Мерленко, І.М., Федонюк, М.А., Линюк, Р.В., & Ковальчук, Н.С. (2019). Зміни агрокліматичних чинників в зоні Полісся в контексті глобального потепління (на прикладі Волинської області). Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки. Рівне, 2 (86). 124 – 134. DOI: https://doi.org/10.31713/vs2201912 (дата звернення: 29.05.2026).

Цицюра, Я. Г., Шкатула, Ю. М., Забарна, Т. А., & Пелех, Л. В. (2022). Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультивації у сучасних системах землеробства. Вінниця, ТОВ «Друк». 1200.

Шевель, Д.О., & Дьяконов, В.І. (2020). Особливості використання верби для фіторемедіації грунтів, забруднених важкими металами. Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття : зб. матеріалів V Наук.-практ. конф. студентів, магістрантів та аспірантів, 19 листопада 2020 р., м. Слов'янськ. ЛНАУ. 42 – 345.

Khan, S., Rehman, S., Khan, A. Z., Khan, M. A., & Tahir Shah, M. (2020). Phytoremediation potential of plants for heavy metals. Environmental Science and Pollution Research. 27. 13655–13675.

Smith, S. R. (2018). Long-term effects of municipal solid waste landfills on soil properties. Waste Management. 80. 207 – 219