

УДК 630*1:631.618:622.271

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.37>

ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ТА КРИТЕРІЇ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ У БІОЛОГІЧНІЙ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ, ПОРУШЕНИХ ВІДКРИТИМ ВИДОБУВАННЯМ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Нонік Л.Ю. – д.філос.,

доцент кафедри екології, лісівництва та сталого природокористування,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0003-4234-8948

Давидова І.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри екології, лісівництва та сталого природокористування,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0001-6535-3948

Куницька М.С. – д.філос.,

доцент кафедри маркшейдерії,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0002-2649-0939

У статті узагальнено сучасні підходи до використання лісових насаджень у біологічній рекультивації земель, порушених відкритим видобуванням корисних копалин. Показано, що створення деревного покриву є лише початковою умовою відновлення, оскільки екологічний ефект насаджень формується поступово та залежить від властивостей техногенного субстрату, стану кореневмісного шару, водного і поживного режимів, породного складу та тривалості розвитку лісового середовища. Дослідження виконано методом аналітичного огляду із застосуванням порівняльного аналізу, змістового узагальнення та систематизації наукових і практичних джерел.

Виокремлено стабілізаційну, ґрунтоутворю, гідрорегулювальну, біогеохімічну, біотичну, кліматорегулювальну та ландшафтну функції лісових насаджень. Обґрунтовано необхідність розмежування технологічних показників виконання робіт і критеріїв фактичного відновлення екосистемних функцій. Площа заліснення, кількість висаджених рослин, густина культур і початкова приживлюваність характеризують обсяг здійснених заходів, тоді як екологічна результативність має визначатися за стабілізацією субстрату, станом ґрунту, формуванням підстилки, розвитком деревостану й нижніх ярусів, природним поновленням, біорізноманіттям, накопиченням вуглецю та здатністю насаджень до самопідтримання.

Запропоновано функціонально орієнтовану систему оцінювання, що поєднує технологічний, лісівничий та екосистемний рівні. Критерії диференційовано за етапами розвитку насаджень: укорінення і збереження культур, формування стійкого деревного покриву, розвиток лісового середовища та досягнення функціональної зрілості. Часові межі мають орієнтовний характер і повинні уточнюватися відповідно до природно-кліматичних умов, типу субстрату, породного складу та технології рекультивації. Наукова новизна підходу полягає у поєднанні екологічних функцій насаджень із критеріями їх оцінювання на послідовних етапах розвитку рекультивованої екосистеми. Запропонована система може бути використана для вдосконалення проектування, післяпроектного моніторингу та оцінювання довгострокової ефективності лісової рекультивації порушених земель.

Ключові слова: лісові насадження, екологічні функції, лісова рекультивація, біологічна рекультивація, відкритий видобуток, техногенні субстрати, критерії екологічної ефективності, післяпроектний моніторинг.



Nonik L.Yu., Davydova I.V., Kunytska M.S. Ecological functions of forest plantations and criteria for their effectiveness in the biological reclamation of land disturbed by open-pit mining

The article summarizes current approaches to the use of forest plantations in the biological reclamation of land disturbed by open-pit mining. It is demonstrated that the establishment of tree cover represents only the initial stage of restoration, since the ecological effects of plantations develop gradually and depend on the properties of the technogenic substrate, the condition of the rooting layer, water and nutrient regimes, species composition, and the duration of forest environment development. The study was conducted as an analytical review using comparative analysis, content-based generalization, and systematization of scientific and practice-oriented sources.

The stabilizing, soil-forming, hydrological, biogeochemical, biotic, climate-regulating, and landscape functions of forest plantations were identified. The need to distinguish between technological indicators of completed reclamation works and criteria reflecting the actual recovery of ecosystem functions was substantiated. Afforested area, the number of planted individuals, stand density, and initial survival rate characterize the scope of implemented measures, whereas ecological effectiveness should be assessed through substrate stabilization, soil condition, forest-floor formation, development of the tree stand and lower vegetation layers, natural regeneration, biodiversity, carbon accumulation, and the capacity of plantations for self-maintenance.

A function-oriented assessment framework combining technological, silvicultural, and ecosystem levels was proposed. The criteria were differentiated according to successive stages of stand development: establishment and survival of forest cultures, formation of stable tree cover, development of the forest environment, and achievement of functional maturity. The proposed time limits are indicative and should be adjusted according to climatic conditions, substrate type, species composition, and reclamation technology. The scientific novelty of the proposed approach lies in integrating the ecological functions of forest plantations with criteria for their assessment at successive stages of reclaimed ecosystem development. The proposed framework can be applied to improve reclamation planning, post-project monitoring, and the assessment of the long-term effectiveness of forest reclamation on disturbed land.

Key words: forest plantations, ecological functions, forest reclamation, biological reclamation, open-pit mining, technogenic substrates, ecological effectiveness criteria, post-project monitoring.

Актуальність теми дослідження. Відкритий видобуток корисних копалин спричиняє глибоку трансформацію ґрунтового і рослинного покриву, рельєфу та водного режиму території. Унаслідок переміщення розкривних порід формуються техногенні субстрати з низьким умістом органічної речовини й доступних елементів живлення, несприятливими водно-фізичними властивостями, підвищеною кислотністю, засоленням або наявністю фітотоксичних компонентів [1, с. 61]. Регіональні польові дослідження рекультивованих ділянок після видобування ільменіту засвідчили переважання піщаних, супіщаних і легкосуглинкових ґрунтів, їх низьку вологоутримувальну здатність та залежність вологості від рельєфу й умісту дрібної фракції [2, с. 172–173; 3, с. 361–363].

Лісгосподарський напрям рекультивації особливо важливий для схилів відвалів, ерозійно небезпечних ділянок і земель, малоприсаєднаних для сільськогосподарського використання [1, с. 11–15; 243–244]. Лісові насадження закріплюють субстрат, зменшують ерозію, регулюють водний і температурний режими, сприяють формуванню підстилки та активізації ґрунтоутворних процесів [1, с. 243–252]. Поряд із лісгосподарським і водогосподарським напрямками для частини відпрацьованих кар'єрів Житомирського Полісся обґрунтовано перспективність рекреаційної рекультивації зі створенням лісопаркових комплексів, водойм і мозаїки зелених зон за умови добору невибагливих видів та поліпшення ґрунтових умов [4, с. 118–119]. Однак формування деревного покриву може випереджати відновлення ґрунтових властивостей: навіть через 10–30 років рекультивовані ґрунти можуть залишатися бідними на гумус і доступні елементи живлення [5, с. 79–92; 118–136].

Актуальність дослідження визначається необхідністю переходу від фіксації створення лісових культур до комплексного оцінювання їхньої ролі у відновленні ґрунтових, гідрологічних, біотичних та інших функцій порушеної екосистеми.

Постановка проблеми. У практиці лісової рекультивації результативність часто визначають за площею заліснення, кількістю висаджених рослин, густотою культур і початковою приживлюваністю [6]. Ці показники характеризують виконання проєктних заходів, але не дають змоги оцінити довгострокове відновлення ґрунту, формування лісового середовища та здатність насаджень до самопідтримання.

Аналіз документації гірничодобувних підприємств свідчить, що післяпроєктний моніторинг зосереджується переважно на контролі окремих компонентів довкілля та виконанні передбачених заходів [7, с. 8, 11–42; 8, с. 8, 11–40]. Розвиток лісових насаджень, формування підстилки, природне поновлення та функціональна стійкість екосистеми при цьому не утворюють самостійного комплексу показників.

Проблема полягає у відсутності цілісної системи, яка поєднувала б технологічний контроль рекультивації з критеріями фактичного відновлення екосистемних функцій на різних етапах розвитку насаджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі рекультивація розглядається як комплексний процес, ефективність якого залежить від технічної підготовки території, властивостей розкривних порід, водного режиму та подальшого біологічного освоєння. Наголошується на необхідності добору деревних порід відповідно до властивостей субстрату й цільового призначення насаджень [1, с. 79–86; 182–198; 243–258]. Регіональні дослідження рекультивованих земель після видобування ільменіту показали, що гранулометричний склад і вологість є базовими індикаторами лісорослинного потенціалу: домінування піщаних і супіщаних фракцій, вимивання дрібнозему та низька вологоутримувальна здатність обмежують приживлюваність і ріст дерев [2, с. 172–173; 3, с. 361–363]. Порівняння ділянок різного віку й породного складу також засвідчило залежність стану насаджень від рельєфу, технології технічного етапу та властивостей кореневмісного шару [3, с. 359–363]. Окремим напрямом є рекреаційна рекультивація, для якої запропоновано поєднувати деревно-чагарникові насадження, відкриті зелені простори й штучні водойми та водночас застосовувати заходи з підвищення продуктивності ґрунту [4, с. 118–119]. Дослідження рекультивованих земель Житомирського Полісся в дисертаційній роботі підтвердили, що відновлення ґрунтових властивостей відбувається нерівномірно та залежить від віку і породного складу лісових культур [5, с. 73–92; 118–136].

Міжнародний підхід Forestry Reclamation Approach передбачає створення придатного кореневмісного шару, мінімізацію ущільнення, використання місцевих деревних видів та узгодження гірничотехнічного і біологічного етапів [9]. Сучасні дослідження підтверджують ефективність розущільнення субстрату, внесення органічних решток і формування різноманітних біотопів [10].

Довготривале формування насаджень супроводжується накопиченням органічної речовини та поступовим розвитком ґрунтового профілю [11]. Природна сукцесія за окремими показниками біорізноманіття і накопичення вуглецю може бути зіставною зі штучним залісненням [12]. Для комплексного оцінювання рекультивації застосовують польові й дистанційні методи, показники ґрунтової родючості, забруднення, стану рослинності та інтегральні індекси якості ґрунту [13–15].

Таким чином, сучасні дослідження переходять від оцінювання приживлюваності дерев до аналізу ґрунтових процесів, біорізноманіття та функціональної

стійкості насаджень, однак єдина система критеріїв їх екологічної ефективності залишається недостатньо сформованою.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Наявні дослідження охоплюють окремі ґрунтові, лісівничі, гідрологічні, біотичні, рекреаційні та інтегральні показники, однак їх результати складно зіставляти через відмінності у властивостях розкритих порід, природних умовах, технологіях рекультивації, цільовому призначенні територій та віці насаджень [1, с. 39–86; 2, с. 172–173; 3, с. 361–363; 4, с. 118–119; 5, с. 73–92; 11–15].

Недостатньо сформованою залишається система, яка пов'язувала б екологічні функції насаджень із вимірюваними критеріями на послідовних етапах відновлення. Тому невирішеним є обґрунтування функціонально й хронологічно диференційованого підходу, адаптованого до умов конкретної рекультивованої території.

Мета дослідження. Узагальнити сучасні підходи до використання лісових насаджень у біологічній рекультивації земель, порушених відкритим видобуванням, та обґрунтувати функціонально орієнтовану систему оцінювання їх екологічної ефективності з урахуванням функцій насаджень і етапів формування лісового середовища.

Методика досліджень. Дослідження виконано шляхом аналітичного узагальнення сучасних підходів до лісової рекультивації земель, порушених відкритим видобуванням. Порівняльний аналіз і систематизацію використано для визначення екологічних функцій насаджень, чинників їх реалізації та критеріїв оцінювання на різних етапах розвитку рекультивованої екосистеми.

Результати досліджень. За результатами проведеного узагальнення запропоновано трактувати екологічну ефективність лісових насаджень як їхню здатність забезпечувати послідовну стабілізацію техногенного субстрату, розвиток ґрунтових і біотичних процесів та формування самопідтримуваної екосистеми. Такий підхід зміщує акцент із факту створення деревного покриву на відновлення сукупності екологічних функцій.

На початковому етапі пріоритетною є стабілізаційна функція. Кореневі системи дерев і чагарників закріплюють нестійкі породи, зменшують рухливість сипких субстратів та обмежують водну і вітрову ерозію. Надземна частина деревостану знижує швидкість вітру, перехоплює частину опадів і пом'якшує температурні коливання поверхні, що особливо важливо на схилах відвалів і ділянках із порушеним стоком [1, с. 243–252].

У міру розвитку насаджень посилюється їх ґрунтоутворний вплив. Накопичення рослинних решток і формування підстилки забезпечують надходження органічної речовини, розвиток кореневої зони, поліпшення структури та водопроникності субстрату. Ці процеси відбуваються повільніше, ніж формування деревного ярусу: навіть через 10–30 років уміст гумусу й доступних елементів живлення може залишатися нижчим, ніж у непорушених ґрунтах. Для ділянок після видобування ільменіту додатковими обмеженнями є переважання піщаних фракцій, вимивання дрібнозему та низька вологоутримувальна здатність [2, с. 172–173; 3, с. 362–363; 5, с. 79–92; 133–136].

Лісове середовище змінює водний режим території. Підстилка та кореневі системи затримують опади, збільшують інфільтрацію і зменшують поверхневий стік. Вираженість цього ефекту визначається густотою, віком і породним складом насаджень, гранулометричним складом субстрату та глибиною залягання підземних вод. На рекультивованих ділянках Житомирського Полісся вологість ґрунту пов'язана також із рельєфом і вмістом дрібної фракції, тому її слід оцінювати разом із гранулометричним складом та станом рослинності [2, с. 173; 3, с. 362; 5, с. 79–92; 11].

Біогеохімічна функція проявляється в накопиченні вуглецю в деревній біомасі, підстилці й ґрунті та включенні поживних елементів у біологічний кругообіг. Стабілізація поверхні й розвиток кореневої зони можуть обмежувати міграцію забруднювальних речовин, однак на субстратах із підвищеним умістом важких металів необхідний контроль їх накопичення у рослинах і можливого включення в трофічні ланцюги [14].

Біотичний результат визначається розвитком усієї структури угруповання, а не лише станом висаджених дерев. Важливими є формування трав'яного і чагарникового ярусів, природне поновлення, заселення ґрунтовими організмами та поява різноманітних оселищ. Спонтанно сформовані деревні угруповання можуть мати високе видове різноманіття і бути зіставними зі штучними насадженнями за запасами вуглецю в біомасі [12]. Для рекреаційно орієнтованих територій до біотичних критеріїв доцільно додавати композиційну різноманітність, естетичну якість і сумісність насаджень із водоймами та іншими елементами лісопаркового ландшафту [4, с. 118–119].

Узагальнення цих процесів за [1, с. 243–258; 2–5; 9–15] дало змогу виділити сім основних екологічних функцій лісових насаджень і відповідні групи показників їх оцінювання (табл. 1).

Таблиця 1

Екологічні функції лісових насаджень та показники їх оцінювання

Екологічна функція	Основні прояви	Рекомендовані показники
Стабілізаційна	Закріплення субстрату, зменшення ерозії та дефляції	проективне покриття, частка еродованої поверхні, промоїни, яри, оголені корені
Ґрунтотворна	Формування підстилки, накопичення органічної речовини, структуроутворення	потужність підстилки, уміст гумусу й органічного вуглецю, щільність, пористість, агрегатний склад
Гідрорегульовальна	Затримання опадів, збільшення інфільтрації, зменшення поверхневого стоку	вологість, водопроникність, вологосмість, ознаки дефіциту або надлишку вологи
Біогеохімічна	Кругообіг поживних елементів, накопичення вуглецю, обмеження міграції токсикантів	pH, уміст N, P, K і важких металів, катіонообмінна ємність, запас вуглецю
Біотична	Формування ярусності, природне поновлення, розвиток біорізноманіття	видовий склад, індекси різноманіття, кількість самосіву, стан нижніх ярусів
Клімато-регульовальна	Пом'якшення температурних коливань, зниження швидкості вітру, секвестрація вуглецю	температура поверхні, мікрокліматичні показники, запас деревної біомаси
Ландшафтна	Інтеграція рекультивованої ділянки у навколишній ландшафт	зв'язність насаджень, частка відкритих ділянок, просторове розміщення біотопів

Реалізація виділених функцій визначається станом техногенного субстрату. Надмірне ущільнення зменшує інфільтрацію, погіршує газообмін і обмежує розвиток коріння; дефіцит органічної речовини й поживних елементів уповільнює ріст дерев, а несприятлива кислотність, засолення або токсичність можуть спричинити

випадання культур. Для рекультивованих територій після видобування ільменіту особливо важливими є гранулометричний склад, уміст дрібної фракції, вологість і рельєф, оскільки їх поєднання безпосередньо впливає на приживлюваність та стан насаджень [2, с. 170, 173; 3, с. 359, 362–363]. Отже, формування придатного кореневмісного шару є базовою умовою довготривалого розвитку насаджень.

Цей принцип покладено в основу Forestry Reclamation Approach, що передбачає використання придатних ґрунтопорід, мінімізацію ущільнення, формування трав'яного покриву без надмірної конкуренції з деревами та добір місцевих видів [9]. Поєднання розуцільнення субстрату, внесення органічних решток і створення різноманітних мікрооселищ сприяє відновленню ширшого спектра екосистемних функцій [10].

Важливим чинником є породний склад. Монокультури можуть швидко забезпечувати зімкнення крон і стабілізацію поверхні, але зазвичай мають простішу структуру. Змішані насадження потенційно формують різноманітнішу підстилку, ефективніше використовують ресурси й краще підтримують біорізноманіття. Регіональні дослідження ділянок із сосною звичайною та змішаними насадженнями сосни й берези підтверджують доцільність урахування породного складу разом із властивостями ґрунту та рельєфом [3, с. 359, 362–363]. Для рекреаційної рекультивації додатковими вимогами є невибагливість видів до ґрунтових умов, швидкий початковий ріст та естетична привабливість [4, с. 118–119]. Водночас застосування екологічно невідповідних або інвазійних видів створює ризики для природного поновлення і прилеглих екосистем.

Проведений аналіз підтвердив необхідність розмежування технологічних показників і довгострокових екологічних результатів. Площа заліснення, кількість саджанців, густина культур і початкова приживлюваність необхідні для контролю виконання проєкту [6], але мають доповнюватися показниками стану ґрунту, розвитку нижніх ярусів, природного поновлення та здатності насаджень до самопідтримання.

Однаковий набір критеріїв не може застосовуватися до насаджень різного віку. На початковому етапі пріоритетними є приживлюваність, приріст і стабілізація поверхні; надалі – зімкнення крон, формування підстилки, зміни ґрунту та розвиток нижніх ярусів. Для старших насаджень визначальними стають природне поновлення, структурна різноманітність, стійкість і підтримання екосистемних функцій без постійного втручання. Часову диференціацію, систематизовану за результатами досліджень ділянок 10-, 20- і 30-річного віку та сучасними підходами до відновлення, наведено в табл. 2 [2, с. 172–173; 3, с. 361–363; 5, с. 118–136; 10–12].

Таблиця 2

Критерії оцінювання за етапами розвитку лісових насаджень

Орієнтовний період	Основна мета оцінювання	Ключові критерії
0–3 роки	Укорінення культур і стабілізація поверхні	приживлюваність, відпад, приріст, проєктивне покриття, ознаки ерозії
3–10 років	Формування стійкого деревного покриву	зімкнення крон, життєвий стан, інтенсивність росту, початок формування підстилки
10–30 років	Розвиток лісового середовища	потужність підстилки, органічний вуглець, щільність і вологість ґрунту, ярусність, біорізноманіття
Понад 30 років	Функціональна зрілість і самопідтримання	природне поновлення, різновікова структура, розвиток ґрунтового профілю, стійкість і ландшафтна зв'язність

Часові межі є орієнтовними, оскільки швидкість відновлення залежить від природної зони, типу субстрату, водного режиму, породного складу й технології рекультивації. Оцінювання має враховувати не лише абсолютні значення показників, а й спрямованість змін та наближення території до функціонального стану відповідних природних екосистем.

Наукова новизна проведеного узагальнення полягає у поєднанні функціональної класифікації насаджень із часовою диференціацією критеріїв і тривірневим оцінюванням рекультивації. Перший рівень охоплює якість технологічного виконання робіт, другий – стан і розвиток насадження, третій – фактичне відновлення екосистемних функцій. Такий підхід відокремлює формальне завершення посадкових заходів від довготривалої екологічної ефективності.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Лісові насадження у біологічній рекультивації забезпечують не лише формування деревного покриву, а й стабілізацію субстрату, зменшення ерозії, накопичення органічної речовини, регулювання водного режиму та відновлення біорізноманіття.

Ефективність рекультивації залежить від властивостей субстрату, стану кореневмісного шару, водного і поживного режимів, породного складу та технології створення насаджень. Тому площа заліснення, кількість саджанців і початкова приживлюваність мають доповнюватися оцінюванням стану ґрунту, формування підстилки, природного поновлення та здатності насаджень до самопідтримання. Критерії слід диференціювати за віком насаджень: від приживлюваності й стабілізації поверхні до структурної різноманітності та функціональної стійкості.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на довготривалий моніторинг насаджень різного віку й породного складу, порівняння штучного заліснення з природною сукцесією та поєднання польових методів із дистанційним зондуванням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Томашівський З. М., Коник Г. С., Періг Г. Т., Оліфір Ю. М., Панахид Г. Я. Рекультивація порушених земель: монографія. 2-ге вид., допов. Оброшине: Видавництво Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, 2023. 336 с.
2. Шомко О. М., Давидова І. В. Фізико-механічний склад ґрунтів рекультивованих територій після видобування ільменіту на Житомирському Поліссі. Технічна інженерія. 2022. Вип. 1 (89). С. 166–175. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-166-175](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-166-175).
3. Шомко О. М., Давидова І. В. Дослідження стану ґрунтів рекультивованих територій після видобування ільменіту на Житомирському Поліссі. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2024. № 1 (331). С. 356–363. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-54>.
4. Давидова І. В., Шомко О. М. Перспективи рекреаційної рекультивації земель, порушених внаслідок видобутку ільменіту. Екологічні науки. 2024. № 1 (52), т. 1. С. 114–119. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.17>.
5. Шомко О. М. Лісорослинний потенціал ґрунту після рекультивації території видобутку ільменіту в Житомирському Поліссі: дис. ... д-ра філософії: 101 Екологія / Державний університет «Житомирська політехніка». Житомир, 2024. 211 с. URL: https://ztu.edu.ua/site/files/1/docs/Наука/Аспірантура%20та%20докторантура/Разові%20ради/2024/diss_Shomko.pdf (дата звернення: 12.07.2026).
6. Екологи ІНГЗК висадили 2,5 тисячі дерев на відвалі. Metinvest Media. 07.12.2021. URL: <https://metinvest.media/ua/page/ekologi-ingoka-vysadili-25-tysyachi-derevev> (дата звернення: 12.07.2026).

7. Звіт за результатами післяпроектного моніторингу щодо впливу на довкілля планованої діяльності «Продовження розробки (експлуатація існуючих кар'єрів з видобування титанових руд та піску будівельного) Юрської ділянки (I черга) Межирічного родовища площею 150,0 га з подальшою рекультивацією порушених земель» у 2024 р. / Філія «Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат» АТ «Об'єднана гірничо-хімічна компанія». Іршанськ, 2025. 177 с. URL: <https://www.umcc-titanium.com/екологія/ігзк/> (дата звернення: 12.07.2026).

8. Звіт за результатами післяпроектного моніторингу щодо впливу на довкілля планованої діяльності «Продовження розробки (експлуатація існуючих кар'єрів з видобування титанових руд та піску будівельного) Юрської ділянки (I черга) Межирічного родовища площею 150,0 га з подальшою рекультивацією порушених земель» у 2025 році / Філія «Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат» АТ «Об'єднана гірничо-хімічна компанія». Іршанськ, 2026. 172 с. URL: <https://www.umcc-titanium.com/екологія/ігзк/> (дата звернення: 12.07.2026).

9. The Forestry Reclamation Approach: Guide to Successful Reforestation of Mined Lands / ed. M. B. Adams. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, 2017. 128 p. (General Technical Report NRS-169). DOI: <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-169>.

10. Sherman L., Barton C. D., Guzy J. C., Davenport R. N., Cox J. J., Larkin J. L., Fearer T., Newman J. C., Price S. J. Wetland Creation and Reforestation of Legacy Surface Mines in the Central Appalachian Region (USA): A Potential Climate-Adaptation Approach for Pond-Breeding Amphibians? *Water*. 2024. Vol. 16, No. 9. Article 1202. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16091202>.

11. Spasić M., Vacek O., Vejvodová K., Borůvka L., Tejnecký V., Drábek O. Profile Development and Soil Properties of Three Forest Reclamations of Different Ages in Sokolov Mining Basin, Czech Republic. *Forests*. 2024. Vol. 15, No. 4. Article 650. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15040650>.

12. Woś B., Misebo A. M., Ochał W., Klamerus-Iwan A., Pajak M., Sierka E., Kompała-Bąba A., Bujok M., Bierza W., Józefowska A., Bujak J., Pietrzykowski M. Biodiversity Characteristics and Carbon Sequestration Potential of Successional Woody Plants versus Tree Plantation under Different Reclamation Treatments on Hard-Coal Mine Heaps—A Case Study from Upper Silesia. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 11. Article 4793. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16114793>.

13. Gao C., Min A., Zhang W., Long Y., Zhang D., Wu H., Wu B., Zhang Z., Xiong P. Vegetation Restoration Effectiveness in Mianshan Abandoned Mine, Dongzhi County, China: Considering Habitat Diversity and Critical Drivers. *Forests*. 2024. Vol. 15, No. 12. Article 2213. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15122213>.

14. Popescu G., Popescu C. A., Horablaga A., Crista F., Dragomir L., Mihut C., Berbecea A., Radulov I. Restoration Potential of Vegetation: Soil Nutrient Responses and Heavy Metal Distribution in Coal Mine Tailings. *Land*. 2025. Vol. 14, No. 11. Article 2274. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14112274>.

15. Mou Y., Lu B., Wang H., Wang X., Sui X., Di S., Yuan J. Evaluative Potential for Reclaimed Mine Soils Under Four Revegetation Types Using Integrated Soil Quality Index and PLS-SEM. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 13. Article 6130. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17136130>.

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026