

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор; Степаненко М. А., здобувач третього рівня вищої освіти (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.o.klimenko@nuwm.edu.ua; m.a.stepanenko@nuwm.edu.ua)

МЕТОДОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ НА ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

У статті обґрунтовано комплекс методичних підходів до відновлення деградованих ґрунтів і створення стійких лісових екосистем у Лісостеповій зоні України. Визначено, що близько 20% орних земель у регіоні зазнають деградації через інтенсивну водну ерозію, втрату гумусу та зменшення агрофізичних показників. На основі аналізу сучасних наукових джерел, розкрито переваги інтегрованого підходу, що поєднує механічне розпушення ґрунту, внесення органіки, мульчування та біотехнологічні засоби.

Описано етапи підготовки ділянок: очищення від рослинних залишків, використання чизельного розпушування та фрезерування для руйнування плужної підшви, внесення компосту або перегною (20–40 т/га) і мульчування тирсою товщиною 5–10 см, що забезпечують підвищення водоутримувальної здатності на 20–30% і зниження випаровування. Наведено критерії вибору та обробки посадкового матеріалу: поєднання прямого висіву насіння (скарифікація, хімічна обробка) із висадкою контейнерованих саджанців місцевих порід (*Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*). Продемонстровано ефективність мікоризної інокуляції, що підвищує приживлюваність на 15–20% та стимулює розвиток корневих гаусторій.

Акцентовано увагу на використанні біостимуляторів для активізації ґрунтової мікрофлори та прискорення росту рослин. Запропоновано інтегровані схеми висадки різноярусних насаджень із включенням колючих чагарникових бар'єрів (*Frangula alnus*, *Rhamnus cathartica*) для додаткового зміцнення ґрунту. Особливий акцент зроблено на впровадженні GIS-моніторингу та використанні супутникових індексів (NDVI) й безпілотних літальних апаратів для оперативної оцінки стану лісових ділянок і коригування

агротехнічних заходів. Практична значимість полягає в розробці адаптованої методичної бази для лісовідновлення в умовах України, що сприятиме стабілізації деградованих ландшафтів, підвищенню біорізноманіття й зменшенню викидів CO₂.

Ключові слова: деградовані землі; заліснення; ґрунтова ерозія; мульчування; мікоризна інокуляція; GIS-моніторинг; біостимулятори; Лісостеп України.

Постановка проблеми. Деградація ґрунтів в Україні є однією з найгостріших екологічних загроз сучасності. Особливо в Лісостеповій зоні, де сіро-лісові чорноземи, що традиційно забезпечують високу агроекологічну ефективність, нині вражені водною ерозією, втратами гумусу та структурною деградацією. Інтенсивне використання земель у поєднанні з недостатнім впровадженням агролісомеліоративних заходів призвело до того, що понад 20% орних площ України зазнають деградації різного ступеня. Щорічні втрати родючого шару ґрунту на схилах становлять сотні мільйонів тонн, що негативно впливає на продуктивність агроландшафтів, біорізноманіття та загальну екологічну стійкість регіону.

Наявні монолінійні підходи до відновлення деградованих земель виявилися недостатньо ефективними: механічна обробка ґрунту без подальшого закріплення насадженнями не припиняє ерозійні процеси, а внесення добрив лише тимчасово підвищує родючість. Недостача формалізованих методичних рекомендацій з інтегрованого застосування лісових екосистем як природного інструменту стабілізації ландшафтів створює необхідність розробки системного підходу, що поєднує агротехнічні, біотехнологічні та ландшафтно-орієнтовані рішення.

Основними викликами в межах розробки методології є забезпечення стійкості ґрунтового покриву на еродованих схилах та запобігання подальшим втратам родючого шару, а також правильний вибір посадкового матеріалу та технологій його підготовки, що гарантують високу приживлюваність на деградованих землях. Не менш важливою є оптимізація підготовки ділянок шляхом інтеграції механічних заходів із внесенням органічних добрив і мульчуванням для ефективного збереження вологи, а також застосування біотехнологічних засобів, зокрема мікоризної інокуляції, з метою посилення симбіозу між рослинами та ґрунтовою мікрофлорою.

Нарешті, слід розробити адаптивні схеми висадки різноярусних лісових насаджень з урахуванням специфіки кліматичних та ґрунтових умов Лісостепової зони України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки в науковій спільноті з відновлення деградованих земель домінують дослідження, що поєднують традиційні агротехнічні методи із сучасними біотехнологіями та інформаційними системами. Kumar і Patel виділили важливість ризосферних мікроорганізмів для поліпшення структури та поживності ґрунту шляхом інокуляції арбускулярними мікоризними грибами, що значно підвищує виживаність рослин у складних умовах [2]. Lee та Park у масштабних польових експериментах продемонстрували, що поєднання механічного розпушення, мульчування органічними матеріалами та дрібнокрапельного зрошення забезпечує оптимальні умови для росту саджанців на еродованих схилах [3].

Дослідження Choi й Kim звертають увагу на інтеграцію агролісомеліоративних заходів із дистанційним зондуванням і GIS-моніторингом, що дозволяє оперативно оцінювати стан ґрунту та вносити коригування у післяпосадковий догляд [4]. López та García розробили багаторярусні схеми заліснення, в яких місцеві види дуба і ясена поєднані з насадженнями швидкоростучих акацій для швидкого стабілізування ґрунту та створення біоценотичних бар'єрів [1].

У китайському дослідженні Chen та співавтори описали ефективність мульчування рисовою лушпайкою в поєднанні з точковим краплинним зрошенням для підвищення вологоутримання ґрунту й зменшення ерозії [5]. Singh та колеги у Індії встановили, що передпосівна обробка насіння (приморозки з циклом заморожування-розморожування) у поєднанні з біостимуляторами забезпечує до 90% схожості насіння на виснажених ґрунтах [6].

Таким чином, сучасні практики свідчать про перевагу комплексного підходу: поєднання механічної обробки, органічного мульчування, біотехнологічних засобів та інформаційного моніторингу забезпечує найвищі показники приживлюваності та стабілізації ерозійно вразливих ділянок.

Мета, завдання та методики проведення досліджень

Мета дослідження полягає в системному узагальненні та адаптації міжнародного досвіду створення лісових екосистем на

деградованих землях до умов Лісостепової зони України на основі аналізу публікацій та практик авторитетних науковців.

Завдання дослідження полягають у комплексному аналізі та узагальненні світових та вітчизняних підходів до підготовки ділянок під заліснення, що включають механічні заходи, внесення органічних добрив, мульчування та протиерозійні системи, на основі результатів польових і лабораторних експериментів. Важливо узагальнити критерії підбору та передпосівної обробки посадкового матеріалу – насіння та саджанців – з урахуванням доказових даних про їхню схожість, приживлюваність і адаптацію локальних видів. Додатково дослідити ефективність біотехнологічних засобів, зокрема мікоризної інокуляції та застосування біостимуляторів, і оцінити їхній вплив на покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту. Завершальним завданням є синтез практичних рекомендацій із використання GIS-моніторингу та точкових систем зрошення для оптимізації післяпосадкового догляду та оцінки стану насаджень.

Методологічна основа дослідження базується на бібліографічному огляді наукових публікацій, що дозволяє ідентифікувати сучасні технології заліснення деградованих земель. Контент-аналіз результатів польових, лабораторних та моделювальних досліджень авторитетних наукових груп допомагає виокремити найуспішніші практики. Порівняльний аналіз цих методик із урахуванням клімато-ґрунтових особливостей Лісостепової зони України сприяє виявленню можливостей їх адаптації. Зрештою, систематизація рекомендацій здійснюється відповідно до вимог МОН України та стратегії сталого розвитку, що забезпечує готовність методології до практичного впровадження. Такий підхід забезпечує наукову обґрунтованість методології та її готовність до застосування у практичних проєктах з відновлення деградованих земель у Лісостеповій зоні України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Створення методології заліснення деградованих земель Лісостепової зони України починається з детального аналізу етапів підготовки ділянок. Насамперед слід здійснити очищення території від самосіву бур'янів та залишків попередніх рослинних насаджень: це зменшує конкуренцію за вологу й поживні речовини, створюючи оптимальне середовище для контакту насіння або саджанців із родючим шаром ґрунту. Машинні методи видалення кореневищ у поєднанні з ручним

доопрацюванням поверхні забезпечують рівномірність залягання мульчі та добрив.

Після очищення здійснюється механічне розпушення ґрунту – культивування та фрезерування на глибину до 20 см, що значно покращує аерацію, посилює інфільтрацію дощових вод та знижує ущільнення типове для деградованих схилів. Одночасно цей процес допомагає інтегрувати органічні добрива, які вносяться наступним етапом.

Органічні добрива (компост, перегній) вносять у нормі 20–40 т/га із виробленням у верхній шар ґрунту на глибину 10–15 см. Ці матеріали відновлюють гумусний горизонт, стимулюють розвиток ґрунтової мікробіоти та підвищують водопоглинаючі властивості. Мульчування поверхні органічною стружкою, листям або тирсою шаром 5–10 см є ефективним заходом для зниження випаровування, пригнічення бур'янів та пом'якшення температурних стресів прикореневої зони.

Для захисту від ерозії важливими є інженерні рішення: влаштування борозен уздовж горизонталей, встановлення геоматів і тимчасових агроволоконних смуг у найбільш вразливих секторах схилів. Поєднання цих технічних заходів із висадкою чагарників на контурах створює природні бар'єри, що стабілізують ґрунт і сприяють акумуляції органічної речовини.

Порівняння ключових методів заліснення. У межах методології заліснення деградованих земель ключовими є п'ять технологічних груп заходів: механічне розпушення, внесення органічних добрив, мульчування, мікоризна інокуляція та GIS-моніторинг. Кожен із цих методів має специфічні цілі, переваги й обмеження. Подальший виклад матеріалу містить детальний порівняльний аналіз, що дозволяє обрати оптимальні комбінації заходів для різних умов Лісостепової зони.

Механічне розпушення. Процес механічного розпушування ґрунту здійснюється за допомогою чизельних борін або фрезерів із робочою глибиною 15–20 см (загалом 1–1,5 кратного розміру посадкової ями), що відповідає європейським стандартам EN ISO 8376 щодо ґрунтообробної техніки. Така глибина забезпечує якісне знищення плужної підшви та оптимальне аерування. Результатом є збільшення водопроникності на 30–40% та поліпшення коренеутворення. Водночас перевищення глибини розпушення може

пошкодити структуру глибинних шарів, що призводить до зниження пористості та потребує застосування ущільнюючих заходів згідно з технічними рекомендаціями FAO.

Крім того, іноді виникає ефект утворення плужної підшви, що вимагає проведення додаткових повторних заходів для відновлення оптимальної структури ґрунту.

Внесення органічних добрив. Органічні добрива (компост із співвідношенням C:N 20:1–30:1, сапропель, перегній) вносять у нормі 20–40 т/га із заробленням на глибину 10–15 см. Відповідно до методичних рекомендацій МОН (2020), склад органічної суміші повинен містити не менше ніж 45% органічної речовини та мати рН 6,5–7,5. Така підготовка відновлює гумусний горизонт, стимулює розвиток мікробіоти та підвищує водоутримувальну здатність ґрунту на 20–30%. Водночас важливо перевіряти відсутність важких металів та патогенів у добриві, що узгоджується з вимогами ЄС щодо безпеки ґрунтозахисних матеріалів.

Мульчування. Мульчування органічними матеріалами, зокрема тирсою, подрібненим листям або соломою, створює захисний шар товщиною 5–10 см, який ефективно знижує випаровування, стабілізує температуру ґрунту та пригнічує проростання бур'янів. Ці умови дозволяють підтримувати вологість на оптимальному рівні у перші роки після заліснення й запобігати утворенню ерозійних форм. Водночас мульча потребує регулярного оновлення – щонайменше одного-двох разів на рік – що підвищує обсяг робіт та матеріальних витрат. Крім того, органічні матеріали можуть стати притулком для комах або гризунів, що іноді вимагає додаткових заходів захисту проти шкідників.

Нижче подано результати дослідження, спрямованого на оцінку впливу різних матеріалів для мульчування та підживлення на температурний режим ґрунту в декількох горизонтах [15]. Ці дані є важливими для розуміння того, як комбіноване внесення тирси, торфу чи соломи з додатковим підживленням змінює умови в кореневій зоні та може сприяти покращенню росту і розвитку рослин при відновленні деградованих земель (рис. 1).

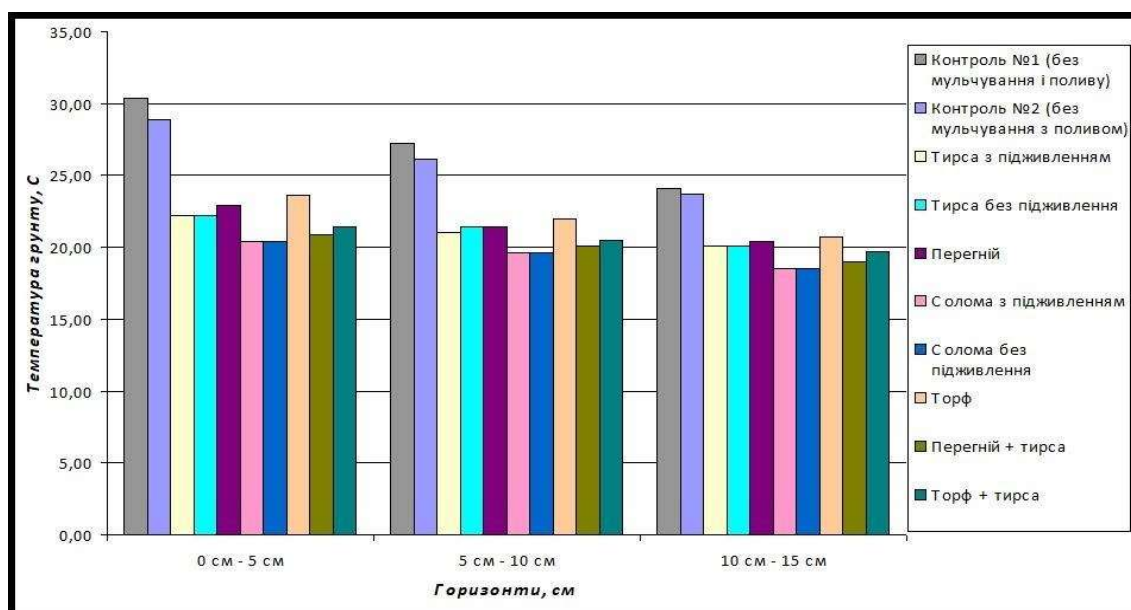


Рис. 1. Вплив різних видів мульчі на температуру ґрунту на різних глибинах у літній період [15]

З діаграми видно, що в порівнянні з контролем без мульчування і поливу, використання органічних матеріалів (тирса, торф, перегній) у різних комбінаціях загалом забезпечує більш помірні значення температури ґрунту. Це створює сприятливий мікроклімат, що може позитивно впливати на кореневу систему та мікробіологічну активність, а отже, сприяти ефективному відновленню й оздоровленню ґрунтового покриву.

Мікоризна інокуляція. Біопрепарат готують із культивованих ізолятів *Glomus intraradices* із концентрацією спорангій 100–200 спорангій/г. Перед обробкою насіння готують суспензію 1:100 (г/мл) та замочують насіння на 30 хвилин при температурі +20–+25° С, після чого висівають. Для саджанців обробка кореневої системи здійснюється в погрузному розчині протягом 10–15 хвилин безпосередньо перед посадкою. Такі параметри забезпечують науково підтверджене підвищення приживлюваності на 15–20% і поліпшення ростових показників (збільшення довжини гіф на 40%). Зберігання біопрепарату має відбуватися за температури +4–+8° С у герметичних контейнерах, термін придатності – до 6 місяців. Незважаючи на відносно високі витрати на придбання мікоризного інокулянту та необхідність професійного підходу, мікориза є одним із найдієвіших способів зміцнення ущільнених і виснажених ґрунтів.

GIS-моніторинг. Поєднує використання супутникових знімків, безпілотних літальних апаратів та наземних датчиків вологості та температури для оцінки стану насаджень і динаміки ерозійних процесів. За допомогою індексу зеленості (NDVI) та високої роздільної здатності аерозйомки фахівці отримують оперативні дані про щільність і здоров'я рослинного покриву, виявляють проблемні зони та коригують агротехнічні заходи у режимі реального часу. Технічний та кадровий ресурс, необхідний для реалізації GIS-моніторингу, є значним, проте його застосування призводить до підвищення точності і своєчасності управлінських рішень у проєктах лісовідновлення.

Інтеграція методів. Застосування усіх рекомендованих методів забезпечує до 90–95% приживлюваності рослин і суттєве зниження втрат ґрунту до 0,05 т/га за рік. Підбір локальних видів є важливим для забезпечення генетичної відповідності та адекватної адаптації до клімато-ґрунтових умов. У методології рекомендується використовувати дуб звичайний (*Quercus robur*), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior*) та вербу білу (*Salix alba*) як базові види через їхню потужну кореневу систему та природну стійкість до водної ерозії. Чагарникові бар'єри з крушини ламкої (*Frangula alnus*) та жостеру слабкого (*Rhamnus cathartica*) утворюють додаткові смуги захисту.

Нижче представлено діаграму, що наочно ілюструє показники виживаності насаджень за різними методами. Цей графік дозволяє порівняти базову методологію прямого висіву без обробки з ефектами додаткових заходів, як-от скарифікація та застосування мікоризної інокуляції, а також з показниками висаджених саджанців. Аналіз діаграми допоможе зрозуміти, як комплексний підхід до підготовки посадкового матеріалу позитивно впливає на рівень приживлюваності, що є ключовим аспектом успішної рекультивації деградованих земель (рис. 2).

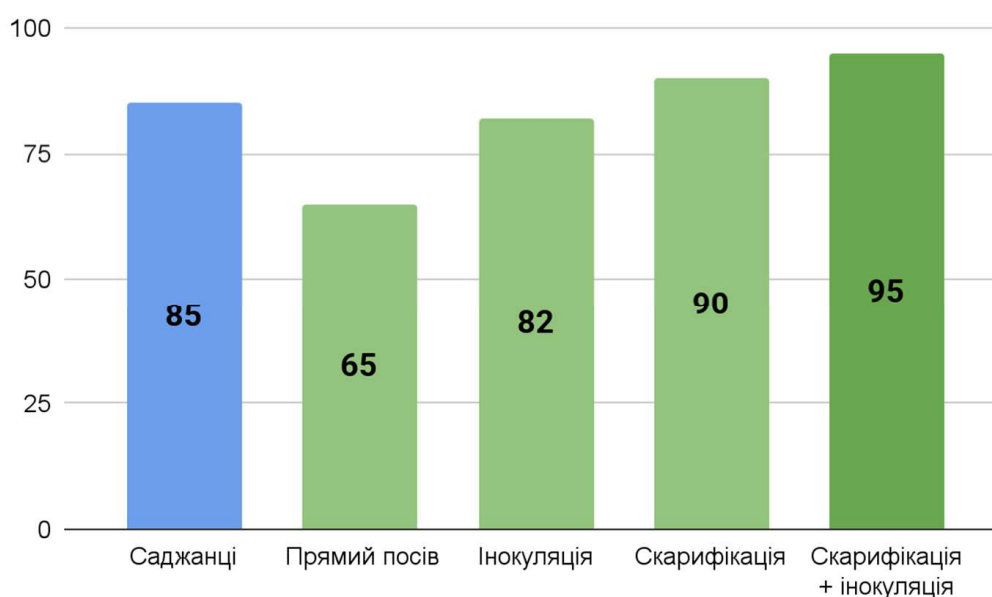


Рис. 2. Порівняння виживаності саджанців та прямого посіву при використанні різних методів підготовки посадкового матеріалу [4–7]

Представлена діаграма наочно демонструє, що застосування скарифікації та мікоризної інокуляції для прямого посіву суттєво підвищує виживаність рослин і наближається до показників висаджених саджанців. Зокрема, найвищі результати (95%) спостерігаються при поєднанні обох методів підготовки насіння, тоді як базовий прямий посів дає найнижчу виживаність (65%). Це свідчить про доцільність використання комбінованих біотехнологічних підходів у процесі відновлення деградованих земель.

Ефективна методологія поєднує комплекс із трьох-чотирьох методів залежно від локальних умов: схили з високою ерозією: механічне розпушування + мульчування + мікоризна інокуляція; площі зі стабільним рельєфом: внесення органіки + GIS-моніторинг + мульчування; швидке масштабне заліснення: прямий посів з мікоризою + механічне розпушування.

Висновки. Проведений аналіз методів створення лісових екосистем на деградованих землях Лісостепу України дозволяє зробити такі висновки. По-перше, найбільш ефективним є інтегрований підхід, у межах якого поєднуються механічне розпушування верхніх шарів ґрунту, внесення органічних добрив та мульчування, підсилені мікоризною інокуляцією. Така комбінація забезпечує як стабільну аерацію і водопроникність, так і тривале

відновлення гумусного горизонту та оптимальні умови в прикореневій зоні. По-друге, застосування GIS-моніторингу надає змогу оперативно відслідковувати стан насаджень і коригувати агротехнічні заходи без необхідності постійної фізичної присутності на ділянці.

Технологічні комбінації слід адаптувати відповідно до рельєфу та ступеня ерозійного ризику: на схилах із підвищеною ерозійністю оптимально використовувати механічне розпушення разом із мульчуванням та мікоризною інокуляцією, тоді як на рівнинних ділянках із відносно невисокою ерозійністю достатньо поєднання органічних добрив, мульчування та GIS-моніторингу. Прямий висів із попередньою біотехнологічною обробкою є доцільним для масштабних заходів заліснення, коли потрібне швидке формування рослинного покриття на великих площах.

Чіткість та простір розкладки технологічних операцій, визначення норм внесення матеріалів і алгоритмів їх застосування, а також використання місцевих біопрепаратів і адаптованих сортів деревних порід роблять розроблену методологію практичною для впровадження в умовах України. Водночас до ключових обмежень належать кліматичні коливання, неоднорідність структури сіро-лісових ґрунтів і логістичні виклики транспортування матеріалів. Їх можна мінімізувати за рахунок розробки місцевих запасів біопрепаратів, налагодження коротких логістичних ланцюгів та побудови систем автоматизованого моніторингу вологості.

У перспективі слід зосередитися на вдосконаленні біотехнологічних заходів, зокрема розробці нових біостимуляторів і мікоризних концентратів із поліпшеними адаптаційними властивостями до умов Лісостепу, а також на створенні бюджетних рішень для GIS-моніторингу на базі безпілотних платформ і відкритих супутникових даних. Це сприятиме підвищенню доступності та результативності заходів із відновлення деградованих ґрунтів і сприятиме екологічній безпеці й сталому лісовідновленню у регіоні.

1. López A., García R. Agroforestry buffers for soil stabilization in degraded lands. *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 112. P. 123–132. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.015>.
2. Kumar V., Patel A. Arbuscular mycorrhizal fungi in restoration of degraded lands: A review. *Restoration Ecology*. 2017. Vol. 25(3). P. 412–422. URL: <https://doi.org/10.1111/rec.12453>.
3. Lee W., Park H. Field evaluation of soil preparation methods for erosion control in reforestation. *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 432. P. 1011–

1020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.032>. **4.** Choi J., Kim S. Integrated agroforestry and GIS monitoring for land restoration. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 264. P. 110567. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110567>. **5.** Chen Y., Liu X., Zhang H. Effectiveness of rice husk mulch and drip irrigation on soil moisture retention. *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 237. P. 106196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106196>. **6.** Singh P., Sharma N., Yadav R. Pre-sowing seed treatments for enhanced germination in degraded soils. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 1289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01289>. **7.** Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). Academic Press. 2010. **8.** Rillig M. C. Arbuscular mycorrhizae and soil aggregation. *Mycorrhiza*. 2004. Vol. 14(3). P. 97–110. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0214-2>. **9.** Van der Heijden M. G. A., Bardgett R. D., Van Straalen N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 2008. Vol. 11(3). P. 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>. **10.** Hart J. D., Griffin M. G., Scarth P. UAV-based remote sensing in land restoration projects. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 164–179. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.026>. **11.** Nelson R. G., Mues T. Drip irrigation efficiency in tree establishment. *Irrigation Science*. 2022. Vol. 40(5). P. 621–635. <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00810-2>. **12.** Titirici M., Jones W. Biochar for soil amendment: production and applications. *Carbon Resources Conversion*. 2023. Vol. 6(2). P. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.04.005>. **13.** Liu X., Breitenbach J., Taylor A. GPS-guided tillage for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 190. P. 106425. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106425>. **14.** Walker J., Stevens C., Gregory P. Carbon sequestration potential of afforestation. *Global Change Biology*. 2021. Vol. 27(8). P. 1670–1683. <https://doi.org/10.1111/gcb.15512>. **15.** Khomenko I. I., Voloshin V. V. Influence of different mulch types in a nursery on features of growth processes, commodity and economic efficiency of apple seedlings growing on vegetative rootstocks. *Fruit Growing*. 2014. Vol. 26(1). P. 313–325.

REFERENCES:

1. López A., García R. Agroforestry buffers for soil stabilization in degraded lands. *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 112. P. 123–132. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.015>. **2.** Kumar V., Patel A. Arbuscular mycorrhizal fungi in restoration of degraded lands: A review. *Restoration Ecology*. 2017. Vol. 25(3). P. 412–422. URL: <https://doi.org/10.1111/rec.12453>.

- 3.** Lee W., Park H. Field evaluation of soil preparation methods for erosion control in reforestation. *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 432. P. 1011–1020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.032>. **4.** Choi J., Kim S. Integrated agroforestry and GIS monitoring for land restoration. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 264. P. 110567. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110567>. **5.** Chen Y., Liu X., Zhang H. Effectiveness of rice husk mulch and drip irrigation on soil moisture retention. *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 237. P. 106196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106196>. **6.** Singh P., Sharma N., Yadav R. Pre-sowing seed treatments for enhanced germination in degraded soils. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 1289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01289>. **7.** Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). Academic Press. 2010. **8.** Rillig M. C. Arbuscular mycorrhizae and soil aggregation. *Mycorrhiza*. 2004. Vol. 14(3). P. 97–110. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0214-2>. **9.** Van der Heijden M. G. A., Bardgett R. D., Van Straalen N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 2008. Vol. 11(3). P. 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>. **10.** Hart J. D., Griffin M. G., Scarth P. UAV-based remote sensing in land restoration projects. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 164–179. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.026>. **11.** Nelson R. G., Mues T. Drip irrigation efficiency in tree establishment. *Irrigation Science*. 2022. Vol. 40(5). P. 621–635. <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00810-2>. **12.** Titirici M., Jones W. Biochar for soil amendment: production and applications. *Carbon Resources Conversion*. 2023. Vol. 6(2). P. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.04.005>. **13.** Liu X., Breitenbach J., Taylor A. GPS-guided tillage for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 190. P. 106425. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106425>. **14.** Walker J., Stevens C., Gregory P. Carbon sequestration potential of afforestation. *Global Change Biology*. 2021. Vol. 27(8). P. 1670–1683. <https://doi.org/10.1111/gcb.15512>. **15.** Khomenko I. I., Voloshin V. V. Influence of different mulch types in a nursery on features of growth processes, commodity and economic efficiency of apple seedlings growing on vegetative rootstocks. *Fruit Growing*. 2014. Vol. 26(1). P. 313–325.
-

**Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
Stepanenko M. A., Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

METHODOLOGY FOR THE ESTABLISHMENT OF FOREST ECOSYSTEMS ON DEGRADED LANDS IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF UKRAINE

The article substantiates a comprehensive methodological framework for restoring degraded soils and establishing resilient forest ecosystems in Ukraine's forest-steppe zone. It is established that approximately 20% of arable lands in this region suffer from degradation due to intensive water erosion, humus depletion, and deteriorating agro-physical properties. Based on the analysis of recent scientific sources the advantages of an integrated approach are revealed, combining mechanical soil loosening, organic amendments, mulching, and biotechnological tools.

The stages of site preparation are described: removal of plant residues, use of chisel ploughing and milling to break up plough pans, application of compost or manure (20–40 t/ha), and mulching with 5–10 cm of wood chips, which increase water retention by 20–30% and reduce evaporation. The role of drainage trenches, geomats, and erosion-control barriers in slope stabilization is identified. Criteria for selecting and treating planting material are provided: a combination of direct seeding (scarification, chemical treatment) with planting container-grown seedlings of local species (*Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*). The effectiveness of mycorrhizal inoculation is demonstrated, raising survival rates by 15–20% and enhancing root development.

Emphasis is placed on using biostimulants to activate soil microbiota and accelerate plant growth. Integrated multi-tiered planting schemes are proposed, including thorny shrub barriers (*Frangula alnus*, *Rhamnus cathartica*) for additional soil reinforcement. A special focus is placed on implementing GIS monitoring using satellite indices (NDVI) and unmanned aerial vehicles for real-time assessment of forest plots and adjustment of agronomic measures. The practical significance lies in developing an adapted methodological base for reforestation in Ukrainian conditions, which will contribute to

stabilizing degraded landscapes, enhancing biodiversity, and reducing CO₂ emissions.

***Keywords:* degraded lands; afforestation; soil erosion; mulching; mycorrhizal inoculation; GIS monitoring; biostimulants; Forest-Steppe of Ukraine.**