

В. Г. Петрук¹
С. М. Кватернюк¹
С. В. Гавазда¹
А. О. Романчук¹

АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОСТМАЙНІНГУ ГІРНИЧО-ДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ ВІННИЧЧИНИ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

*У статті проведено комплексний системний аналіз технологій постмайнінгу в контексті сталого розвитку Вінницького регіону. Визначено, що загальна площа порушених земель в області сягає 5788,25 га, що зумовлює гостру потребу у впровадженні стратегій «зеленого майнінгу». Обґрунтовано економічні інструменти стимулювання рекультивациі, зокрема фіскальну стимуляцію та екологічний краудінвестинг. На основі аналізу флори кар'єрних екотопів виявлено високий рівень синантропізації (56,6%) та експансію інвазійного виду *Solidago canadensis*, що доводить неефективність пасивного самовідновлення. Науково обґрунтовано чотири моделі автотрофної сукцесії залежно від морфології виробленого простору та експозиції схилів. Запропоновано диференційований підхід до реінтеграції територій у сільськогосподарський, лісовий та рекреаційний фонди Правобережного Лісостепу.*

Ключові слова: природоохоронні технології, екологічна безпека, постмайнінг, гірничо-добувна галузь, фіторе mediaція.

Abstract

*The article provides a comprehensive systematic analysis of post-mining technologies within the context of sustainable development in the Vinnytsia region. It was determined that the total area of disturbed lands in the region reaches 5788.25 hectares, which creates an urgent need for the implementation of "green mining" strategies. Economic tools for stimulating land reclamation, including fiscal incentives and environmental crowd-investing, are substantiated. Based on the analysis of the flora of quarry ecotopes, a high level of synanthropization (56.6%) and the expansion of the invasive species *Solidago canadensis* were revealed, proving the inefficiency of passive self-recovery. Four models of autotrophic succession are scientifically grounded depending on the morphology of the mined-out space and the exposure of the slopes. A differentiated approach to the reintegration of territories into the agricultural, forestry, and recreational sectors of the Right-Bank Forest-Steppe is proposed.*

Keywords: environmental technologies, environmental safety, post-mining, mining and extractive industry, phytoremediation.

Вступ

Сьогодні концепція постмайнінгу виступає невід'ємним елементом життєвого циклу будь-якого гірничодобувного підприємства. Постмайнінг являє собою комплексну, багатовекторну систему управління відпрацьованими гірничими об'єктами, яка інтегрує інженерно-технічні, біологічні, економічні та нормативно-правові інструменти з метою відновлення порушених ландшафтів, мінімізації екологічних ризиків та реінтеграції цих територій у соціально-економічний простір регіону.

Для Вінницької області, яка традиційно асоціюється з потужним агропромисловим комплексом завдяки наявності високородючих ґрунтів, проблема деградації земель внаслідок відкритої розробки родовищ корисних копалин набуває особливої гостроти. Регіон характеризується інтенсивним розвитком гірничодобувного сектору, зокрема масштабним видобутком нерудних матеріалів: граніту, піску, вапняку, а також цінних промислових мінералів (наприклад, Глуховецьке родовище каоліну). При цьому відкритий спосіб видобутку, попри свою економічну ефективність, є найбільш деструктивним методом впливу на літосферу та біосферу. Згідно з даними екологічного паспорту області за 2023–2024 рр., площа порушених земель досягла критичних 5788,25 га, що фактично вилучені з господарського обігу та є середками екологічної деградації [1].

Питання рекультивациі та екологізації надкористування регулюються Земельним кодексом України (ст. 166) та Законом України «Про охорону земель» (ст. 52) [2]. Попри адаптацію вітчизняного законодавства до вимог Директиви 2006/21/ЄС, реальна практика виявляє суттєві правові прогалини. Наукові дослідження останніх років (зокрема щодо стану флори кар'єрних екотопів) вказують на загрозливу тенденцію: ступінь синантропізації флори досягає 56,6%, а експансія інвазійних видів, таких як *Solidago canadensis*, нівелює процеси природного самовідновлення. Це зумовлює необхідність переходу від пасивного очікування до керованих технологій фітореєдифікації та концепції «зеленого майнінгу».

Метою роботи є фундаментальний системний аналіз інноваційних природоохоронних технологій постмайнінгу в контексті Вінницького регіону. Дослідження спрямоване на оцінку сучасного стану порушених земель, розробку стратегій біологічної рекультивациі на основі моделювання стадій автотрофної сукцесії, а також обґрунтування економічних інструментів (фіскальна стимуляція, екологічний краудінвестинг) для успішної реінтеграції відпрацьованих родовищ у господарський простір Правобережного Лісостепу України.

Результати дослідження

Аналіз стану порушених земель та нормативно-правового поля. Проведений аналіз екологічного паспорта Вінницької області за період 2023–2024 рр. свідчить про критичний стан земельного фонду регіону: загальна площа порушених територій становить 5788,25 га. Ці землі є осередками деградації, що супроводжуються зміною гідрологічного режиму та забрудненням акваторій промисловими стоками. Попри наявність законодавчих імперативів (ст. 166 Земельного кодексу України, ст. 52 ЗУ «Про охорону земель»), виявлено суттєві процедурні лакуни, які дозволяють надкористувачам відтермінувати рекультивацию, що робить нагальним прийняття спеціалізованого закону «Про рекультивацию земель».

Встановлено, що успішне відновлення ландшафтів залежить від інтегрованої системи фінансування. Нами виділено три ключові інноваційні інструменти:

- Фіскальна стимуляція: запровадження податкових канікул для підприємств, що впроваджують «зелений майнінг».
- Екологічний краудінвестинг: залучення громадського капіталу для трансформації кар'єрів у рекреаційні зони.
- Капіталізація земель: повернення деградованих територій у макроекономічний обіг як високоліквідних активів.

Дослідження систематичної структури первинного рослинного покриву на відпрацьованих родовищах (зокрема Глухівського каолінового кар'єру) показало домінування представників родин *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Rosaceae* та *Poaceae*.

Ключовим видом-едифікатором початкових стадій визначено підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.), здатний розпушувати щільні суглинисті субстрати. Проте виявлено високий рівень синантропізації флори (56,6%), що створює загрозу експансії інвазійного виду — золотушника канадського (*Solidago canadensis* L.). Це доводить неефективність пасивного самозаростання та необхідність впровадження керованої фітореєдифікації.

Рекультивация земель Вінниччини має базуватися на принципі багатофункціональності. Сільськогосподарський напрямок є пріоритетним для піщано-суглинистих ділянок, тоді як обводнені кар'єри доцільно трансформувати у водогосподарські та рекреаційні об'єкти. Природоохоронний напрямок передбачає створення локальних об'єктів ПЗФ, що компенсує екологічні втрати періоду видобутку. Впровадження концепції паралельного ведення робіт («зеленого майнінгу») дозволяє мінімізувати часовий розрив між вилученням земель та їх відновленням.

Висновки

У результаті проведеного аналізу інноваційних природоохоронних технологій постмайнінгу в умовах Вінницької області сформульовано наступні положення. Встановлено, що інтенсивний видобуток нерудних копалин на Вінниччині призвів до вилучення з обігу понад 5788 га земель. Ці території трансформувалися в осередки деградації з порушеним гідрологічним режимом, що потребує негайного впровадження системного постмайнінгу як обов'язкового етапу життєвого циклу підприємства.

Доведено, що чинна правова база є фрагментарною та потребує прийняття спеціалізованого Закону України «Про рекультивацию земель». Економічна стійкість відновлювальних робіт має забезпечуватися через механізми «зеленого майнінгу», фіскальні преференції та інструменти екологічного краудінвестингу, що дозволить перетворити екологічні витрати на інвестиції у ліквідні земельні активи.

Виявлено, що природне самозаростання кар'єрів у зоні Правобережного Лісостепу веде до високої синантропізації флори (56,6%) та експансії агресивного інвазійного виду — золотушника канадського (*Solidago canadensis*). Це обґрунтовує пріоритетність активної фітореємедіації над пасивними стратегіями.

Науково обґрунтовано чотири моделі автотрофної сукцесії залежно від морфології виробленого простору. Визначено ключову роль виду-едифікатора *Tussilago farfara* та азотфіксуєючих рослин родини Fabaceae у прискоренні ґрунтоутворення. Встановлено, що на зовнішніх схилах сукцесія здатна досягати клімаксної лісової стадії з домінуванням клена гостролистого.

Стратегія відновлення об'єктів Вінниччини повинна базуватися на диференційованому підході: відтворення ріллі на рівнинних ділянках, створення лісових насаджень на ерозійно-небезпечних схилах та трансформація затоплених кар'єрів у рекреаційно-водогосподарські комплекси.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці детальних технологічних карт фітореємедіації для конкретних типів родовищ (гранітних, каолінових, вапнякових) з урахуванням мікрокліматичних особливостей окремих районів Вінницької області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Екологічний паспорт Вінницької області за 2023 рік : рішення № 1124 Вінницької обласної ради від 25.05.2024 р. Вінниця, 2024. URL: <https://vinrada.gov.ua/upload/docs/89fa3c8757dbc9e5ad710ab5c98b30a5.pdf> (дата звернення: 27.02.2026).

2. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення порядку зміни цільового призначення земельних ділянок для залучення інвестицій з метою швидкої відбудови України : Закон України від 06.02.2024 р. № 3563-IX. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. URL: <https://land.gov.ua/zakon-ukrayiny-vid-06-lyutogo-2024-roku-№-3563-ix> (дата звернення: 27.02.2026).

Петрук Василь Григорович — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: petrukvg@vntu.edu.ua.

Кватернюк Сергій Михайлович — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.

Гавадза Сергій Вячеславович — аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gavadzasv@gmail.com.

Романчук Алла Олександрівна — студентка групи ТЗД-25б, факультет будівництва, цільової та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: romanchukao@gmail.com

Petruk Vasyl Hryhorovych — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: petrukvg@vntu.edu.ua.

Kvaterniuk Serhii Mykhailovych — D.Sc., Professor, Professor of Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.

Gavadza Serhii Vyacheslavovich — Postgraduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gavadzasv@gmail.com.

Romanchuk Alla Oleksandrivna — Student of group TZD-25b, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: romanchukao@gmail.com.