



ISSN 2310-4678

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

2/2026



ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Виходить 4 рази на рік

№ 2/2026

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Дребот Оксана Іванівна

д.е.н., професор, академік НААН

Відповідальний секретар

Височанська Марія Ярославівна

д.е.н., старший дослідник

- Антоненко Ірина Ярославівна** • д.е.н., професор (Київ)
Бадрі Гечбая • д.е.н., професор (Грузія)
Баран-Зглобічка Богуслава • д-р габ. (Республіка Польща)
Білотіл Валентина Юріївна • доктор філософії з економіки (PhD) (Київ)
Вежбінський Богдан • д.е.н., професор (Республіка Польща)
Грановська Людмила Миколаївна • д.е.н., професор (Херсон)
Дем'янюк Олена Сергіївна • д.с.-г.н., професор,
член-кореспондент НААН (Київ)
Добряк Дмитро Семенович • д.е.н., член-кореспондент НААН (Київ)
Дубас Ростислав Григорович • д.е.н., професор (Київ)
Іріс Лонкар • доктор філософії з економіки (PhD)
(Хорватія)
Ілієв Іван Олександрович • д.н., професор (Болгарія)
Йошіхіко Окабе • д.е.н., професор (Японія)
Копій Леонід Іванович • д.с.-г.н., професор (Львів)
Кузін Наталія Василівна • д.е.н., доцент (Біла Церква)
Микитин Тарас Миронович • д.е.н., доцент (Київ)
Мішенін Євген Васильович • д.е.н., професор (Київ)
Москаленко Анатолій Михайлович • д.е.н., професор,
член-кореспондент НААН (Чернігів)
Мудрак Олександр Васильович • д.с.-г.н., професор (Вінниця)
Новаковська Ірина Олексіївна • д.е.н., професор,
член-кореспондент НААН (Київ)
Павлова Олена Миколаївна • д.е.н., професор (Луцьк)
Паляничко Ніна Іванівна • д.е.н., старший науковий
співробітник (Київ)
Попадинець Назарій Миколайович • д.е.н., старший дослідник (Львів)
Сахарнацька Людмила Іванівна • к.е.н., старший дослідник (Київ)
Собчик Вікторія • д.с.-г.н., професор (Республіка Польща)
Тараріко Олександр Григорович • д.с.-г.н., професор, академік НААН (Київ)
Трохименко Олена Олексіївна • д.е.н., професор (Київ)
Фурдичко Орест Іванович • д.е.н., д.с.-г.н., професор,
академік НААН (Київ)
Шерстобоева Олена Володимирівна • д.с.-г.н., професор (Київ)
Шершун Микола Харитонович • д.е.н., професор (Київ)
Юхновський Василь Юрійович • д.с.-г.н., професор (Київ)
Якимчук Аліна Юріївна • д.е.н., професор (Республіка Польща)

Засновники:

Інститут агроекології і природокористування НААН

ТОВ «Екоінвестком»

*Свідоцтво про реєстрацію
КВ № 18960-7750 Р від 29.05.2012 р.*

Видавець:

ТОВ «Екоінвестком»

*Свідоцтво про реєстрацію
ДК № 4293 від 02.04.2012 р.*

Адреса редакції:

03143, м. Київ, вул. Метрологічна, 12

тел./факс: (044) 526-33-36

www.natureus.org.ua

e-mail: nature_us@ukr.net

Журнал включено

до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)

згідно з наказом Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р.

за такими спеціальностями: 051 — Економіка, 101 — Екологія,

201 — Агрономія, 205 — Лісове господарство.

Журнал включено

до міжнародних інформаційних та наукометричних баз:

RePEc, Research Bible, Google Scholar,

Advanced Science Index, Polska Bibliographia Naukowa.

Рекомендовано до друку

Вченою радою Інституту агроекології

і природокористування НААН

(протокол № 3 від 23 березня 2026 р.).

Відповідальність за добір і викладення фактів несуть автори.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Підписано до друку 09.04.2026 р. Формат 60×84/8. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 14,0. Наклад 300 прим. Зам. № ЗП-02-26.

Оригінал-макет та друк ТОВ «ДІА». 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 45.

ЗМІСТ

Дребот О. І., Мельников О. В. Роль органічного сільського господарства у забезпеченні продовольчої безпеки.	5
Фурдичко О. І., Яремко О. П. Пріоритетні напрями розвитку побічного лісокористування в умовах ринкової трансформації та воєнних викликів.	15
Ярова І. Є. Оцінка екодеструктивних витрат у системі сталого просторового лісогосподарування.	20
Боцула О. І., Головіна О. Л., Гулінчук Р. М., Гриник О. І. Сучасні підходи до удосконалення управління підприємствами лісової галузі України в контексті євроінтеграції.	31
Височанська М. Я., Горінштейн М. Л. Еколого-економічне оцінювання ефективності фінансового забезпечення природно-заповідного фонду Західного Полісся.	38
Беліменко С. В. Збір поваленої деревини, гілля та сухостою в контексті розвитку збалансованого лісогосподарського землекористування.	45
Король О. В., Глущенко Л. А. Динаміка пірогенних сукцесій соснових насаджень на прикладі Жеревського лісництва Київської області ..	51
Тимошенко Л. М., Мороз В. В. Грубий деревний детрит як складова вуглецевого капіталу лісів.	59
Соломко В. Л. Особливості розподілу відмерлої деревини в лісових екосистемах Житомирського Полісся.	70
Танаков М. С., Мельник П. П. Еколого-економічні засади управління матеріалоємністю в агроекосистемах (на прикладі Вінницької області)	77
Сахарнацька Л. І., Ванюшкіна В. Я. Екологічна взаємодія поліетнічних спільнот: як культурне різноманіття формує підходи до збереження довкілля.	83
Палапа Н. В., Ше В. В. Людський капітал України в умовах війни та його повоєнне відновлення.	91
Ковалів О. І. Конституційна “координатизація” природних об’єктів права власності Українського народу в процесі формування економіко-правового земельного простору в Україні.	102

CONTENTS

Drebot O., Melnykov O. The role of organic agriculture in ensuring food security.	5
Furdychko O., Yaremko O. Priority directions for the development of side-use forest utilization in the conditions of market transformation and military challenges.	15
Yarova I. Assessment of ecodestructive costs in the system of sustainable spatial forestry management.	20
Botsula O., Golovina O., Hulinchuk R., Hrynyk O. Modern approaches to improving the management of forestry enterprises in Ukraine in the context of European integration.	31
Vysochanska M., Horinshtein M. Environmental and economic assessment of the financial support efficiency of the nature reserve fund of Western Polissia.	38
Belimenko S. Collection of felled wood, branches and dry wood in the context of the development of balanced forestry management.	45
Korol O., Hlushchenko L. Dynamics of pyrogenic succession in pine plantations: a case study of the Zharevskye forestry, Kyiv region.	51
Tymoshenko L., Moroz V. Coarse woody detritus as a component of the carbon capital of forests.	59
Solomko V. Features of deadwood distribution in forest ecosystems of the Zhytomyr Polissia.	70
Tanakov M., Melnyk P. Ecological and economic principles of material intensity management in agroecosystems: a case study of the Vinnytsia region.	77
Sakharnatska L., Vaniushkina V. Ecological interaction of polyethnic communities: how cultural diversity shapes approaches to environmental conservation ...	83
Palapa N., She V. Human capital of Ukraine under war conditions and its post-war recovery.	91
Kovaliv O. Constitutional “coordination” of natural objects of property rights of the Ukrainian people in the process of forming the economic and legal land space in Ukraine.	102

Parfenyuk A.

Doctor of Biological Sciences, Professor

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)

e-mail: vereskpar@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0169-4262>

The article analyzes recent scientific studies on regenerative agriculture as a tool for achieving the Sustainable Development Goals amid global climate change, progressive soil degradation, and intensifying environmental risks. The study synthesizes approaches in which regenerative agrotechnologies are viewed as environmentally friendly practices with a predominantly positive impact on agroecosystem health through organic carbon sequestration and the activation of microbial metabolism. The analysis showed that, although most scientific studies focus on monitoring individual indicators, systemic transformations of biogeochemical cycles often lack comprehensive analysis. The patterns of structural and functional reorganization of soil ecosystems during the transition period to regenerative agriculture, along with the associated risks of losing ecosystem stability, remain insufficiently explored. Particular attention is focused on potential environmental risks arising from the intensification of biological processes, specifically the mobilization of heavy metals and their ecotoxicological manifestations in soils with low buffering capacity. It is substantiated that regenerative agriculture is a risk-sensitive process requiring multi-component assessment. Based on a systems approach, a conceptual model for environmental risk assessment has been developed, grounded in the synthesis of biological determinants, organic carbon sequestration parameters, and ecotoxicological indicators. The methodology for calculating the Regenerative Transition Safety Index (RTSI) is presented, which enables a quantitative evaluation of the balance between restorative and degradative processes. Threshold values and interpretation criteria for the index are defined to identify critical phases of soil ecological instability. The proposed approach serves as a tool for risk-oriented monitoring, aimed at identifying and minimizing environmental threats while preserving the biological suppressiveness and overall soil health during the transition of agroecosystems toward regenerative land-use models.

Keywords: conceptual model; integral index; regenerative agriculture; environmental risks; soil health; agroecosystems; soil degradation; structural indicators; functional indicators; toxicological indicators.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

КАРАЧИНСЬКА Надія Василівна — кандидат біологічних наук, науковий співробітник лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва відділу агробіоресурсів та екологічно безпечних технологій, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: karachinskan051177@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-8430>)

ЛІЩУК Алла Миколаївна — доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва відділу агробіоресурсів та екологічно безпечних технологій, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-9365>)

ПАРФЕНЮК Алла Іванівна — доктор біологічних наук, професор, головний науковий співробітник лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва відділу агробіоресурсів та екологічно безпечних технологій, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: vereskpar@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0169-4262>)

ВІДНОВЛЕННЯ БІОПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЦЕНОЗІВ НА ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ СНИГУРІВСЬКОЇ ГРОМАДИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ: ОЦІНКА ПОШКОДЖЕНЬ І ПІДБІР ФІТОРЕМЕДІАНТІВ

Т. О. Чайка

кандидат економічних наук

Відокремлений структурний підрозділ “Аграрно-економічний фаховий коледж
Полтавського державного аграрного університету” (м. Полтава, Україна)
e-mail: chaika_ta@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5980-7517>

М. Я. Шевніков

доктор сільськогосподарських наук, професор

Полтавський державний аграрний університет (м. Полтава, Україна)
e-mail: mukola.shevnikov@pdau.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0810-523X>

В. І. Ратошнюк

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

Інститут сільського господарства Полісся НААН України (м. Житомир, Україна)
e-mail: viktor.rastoshnyuk@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6937-7541>

В. В. Ляшенко

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Полтавський державний аграрний університет (м. Полтава, Україна)
e-mail: viktor.liashenko@pdau.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0177-6209>

Військова агресія в поєднанні з наростаючим гідротермічним стресом Степової зони створює подвійний виклик для відновлення сільськогосподарських угідь деокупованих територій півдня України. У статті досліджено масштаби руйнування ґрунтового покриву на деокупованих сільськогосподарських угіддях Снігурівської міської територіальної громади Миколаївської області й обґрунтовано ефективні шляхи стабілізації ґрунтових процесів через застосування фітомеліоративних заходів, адаптованих до регіональних гідротермічних ризиків. На дослідній ділянці площею 122 га ідентифіковано 98 вибухових вирв із діаметрами від 1,8 до понад 60 м (середня щільність — 0,8 вирв/га); сумарний об'єм переміщеного ґрунту перевищив 73,0 тис. м³. Вирви діаметром понад 7 м, становлячи 68% від загальної кількості, зумовили понад 99% об'ємних втрат. Визначено, що з урахуванням металевого забруднення та вторинної фрагментації зона функціональної деградації охопила орієнтовно 14,1 га, що в п'ять разів перевищує площу безпосередніх уражень. Розраховано прямі витрати на технічну рекультивуацію й агрохімічну меліорацію, що становлять у середньому 443,0 тис. грн/га, а це в 11 разів перевищує ринкову вартість сільськогосподарських земель регіону (34,0 тис. грн/га у 2024 р.) і створює реальну загрозу довгострокового виведення цих територій з агровиробництва. Обґрунтовано доцільність поетапного агробіологічного відновлення шляхом упровадження 15-річної фітомеліоративної сівозміни із сорго (*Sorghum bicolor*), сафлору (*Carthamus tinctorius*) та буркуну (*Melilotus spp.*), адаптованих до посушливих умов Степу. Вибір культур ґрунтувався на виконанні ними комплексних функцій: фітоекстракції важких металів, ризосферній біоаугментації органічних забрудників, структурній стабілізації ґрунту та низьковитратній технології вирощування для отримання біомаси. Визначено економічну самокупність заходів шляхом використання забрудненої біомаси як твердого біопалива.

Ключові слова: вибухові вирви, об'ємні втрати ґрунту, фіторемедіанти, фітомеліоративні заходи, *Sorghum bicolor*, *Melilotus spp.*, *Carthamus tinctorius*, відновлення сільськогосподарських земель.

ВСТУП

Екологічні наслідки сучасної війни виходять далеко за межі безпосереднього фізичного руйнування, створюючи стійкі моделі деградації, які фундаментально змінюють властивості

ґрунту й агропродуктивність на десятиліття [1]. Військові операції формують специфічні “белігеративні ландшафти”, що характеризуються поєднанням хімічного забруднення важкими металами (Pb, Cd, Cu, Zn), порушенням струк-

тури ґрунту та довготривалою фітотоксичністю [1; 2]. Повномасштабне вторгнення в Україну спричинило безпрецедентне забруднення понад 139 тис. км² земель, що спровокувало системну кризу в національному аграрному секторі [3; 4].

Відновлення сільського господарства на таких територіях стикається з критичними економічними бар'єрами. Світовий досвід, зокрема в Боснії та Герцеговині, свідчить, що витрати на традиційну технічну рекультивацию часто перевищують потенційні доходи від агрови-робництва, що призводить до появи зон відчуження [5]. Для регіонів з низькою ринковою вартістю землі, пошкодженою інфраструктурою та мінною небезпекою необхідні альтернативні, економічно доцільні стратегії відновлення.

Одним із перспективних напрямів є фіто-ремедація, інтегрована з виробництвом біо-енергії. Цей підхід дає змогу перетворювати забруднену біомасу на енергетичні продукти, компенсуючи експлуатаційні витрати [6; 7]. Однак застосування цієї моделі на півдні України ускладнюється кліматичними змінами. Ариди-зація Степу та почастищення екстремальних температур вимагають відмови від традицій-них вологолюбних ремедіантів на користь посухостійких культур С₄-типу, таких як сорго (*Sorghum bicolor*), здатних підтримувати про-дуктивність в умовах водного стресу [8; 9].

Мета статті полягала у визначенні масш-табів руйнування ґрунтового покриву у Снігу-рівській громаді внаслідок бойових дій і пошуку ефективних шляхів стабілізації ґрунтових про-цесів через використання фітомеліоративних заходів, адаптованих до регіональних гідро-термічних ризиків.

Передбачено виконання таких завдань: 1) виявити кількість, просторовий розподіл і морфометричні параметри вибухових вирв на дослідному полі Снігурівської МТГ; 2) визна-чити масштаби об'ємних втрат ґрунту та зону функціональної деградації з урахуванням мета-левого забруднення й вторинної фрагментації; 3) розрахувати витрати на фізичне та хіміч-не відновлення поля; 4) обґрунтувати склад і структуру 15-річної фітомеліоративної сівоzmі-ни як альтернативної низьковитратної стратегії відновлення біопродуктивності деокупованих агроландшафтів в умовах наростаючого гідро-термічного стресу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема відновлення пошкоджених вій-ною агроландшафтів перебуває в центрі уваги наукової спільноти. Методологічні підходи до виявлення воєнних пошкоджень ґрунтового покриву на основі різних методів апробовано

на матеріалах різних регіонів України [10–12]. Оцінка масштабів руйнувань земельного фонду України [13; 14] вказує на механічну деградацію та хімічне забруднення як основні виклики. Дослідження екологічних наслідків безпосе-редньо в Снігурівській територіальній громаді [15] підтверджують значні економічні збитки та критичний стан біоценозів, додатково враз-ливих до наростаючого кліматичного стресу в Степовій зоні [8].

Питання технологічного відновлення ро-дючості опрацьовано у праці [16], де визначено, що механічна меліорація становить понад 80% витрат у структурі відновлювальних робіт, що підкреслює необхідність пошуку самоокупних біологічних методів. Міжнародний досвід [17; 18] вказує на перспективність використання природоорієнтованих рішень та інтеграції фіто-ремедації в енергетичні ланцюги.

Водночас у науковій літературі недостат-ньо висвітлено комплексні підходи, які б поєд-нували кількісну оцінку параметрів деградації ґрунту на рівні окремих полів із верифікацією кліматично адаптованих систем фіторемедації для специфічних умов півдня України. Критич-но необхідним є перехід від загальної оцінки збитків до розробки прикладних інструментів ревіталізації сільськогосподарських земель, що поєднують екологічну безпеку з фінансовою самоокупністю.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Детальну оцінку пошкоджень проведено на репрезентативній сільськогосподарській зе-мельній ділянці площею 122 га (далі — дослідне поле) у Снігурівській міській територіальній громаді (МТГ) Миколаївської області (коорди-нати: 47°05'28"N, 32°46'57"E). Територія класи-фікується як "белігеративний ландшафт", що зазнав інтенсивного вогневого впливу. Ґрунто-вий покрив представлений чорноземами півден-ними малогумусними (уміст гумусу — 2,8–3,1%; рН = 7,1–7,3; гідролітична кислотність <2,0 мг-екв/100 г).

Ідентифікацію місць розривів боєприпасів здійснено методом суцільного детерміновано-го обліку за супутниковими знімками високої роздільної здатності (Google Earth, доступна дата останньої зйомки — 03.06.2022). Морфо-метричний аналіз (площа дзеркала вирви та максимальний діаметр) виконано у програмно-му середовищі ImageJ (Wayne Rasband, США) із застосуванням автоматизованої сегментації зображень. Статистичну обробку та візуаліза-цію даних реалізовано мовами програмування Python (Python Software Foundation, США) та R (R Development Core Team, Австрія).

Моделювання об'ємних втрат ґрунту (V , m^3) базується на конічній апроксимаційній моделі [2]:

$$V = (S \times H) / 3, \quad (1)$$

де S — площа дзеркала вирви, визначена за допомогою інструментарію ImageJ, m^2 ; H — глибина вирви (m), розрахована за геометричним наближенням $H=0,4D$ (D — діаметр вирви). Коефіцієнт 0,4 прийнято як консервативну верхню межу для відображення механіки глибокого проникнення боєприпасів у ґрунт [2; 14].

Розрахунок норми хімічної меліорації (D_{CaCO_3} , $t/га$) для нейтралізації постімпактного підкислення проведено за методом гідролітичної кислотності [19]:

$$D_{CaCO_3} = Ha \times 1,5, \quad (2)$$

де Ha — гідролітична кислотність ґрунту ($mg\text{-}екв/кг$). Для зон із $pH > 7,0$ доза меліоранта приймається рівною нулю.

Вибір культур для фіторе mediaційної сівозміни здійснено на основі мультикритеріального аналізу, що враховував: 1) C_4 -шлях фотосинтезу для стійкості до посухи; 2) здатність до акумуляції важких металів; 3) придатність біомаси для виробництва твердого біопалива.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Повномасштабне вторгнення у 2022 році призвело до негайного та серйозного скорочення сільськогосподарських угідь. У Миколаївській області площа посівів зернових і бобових культур скоротилася на 26,2% (до 705,2 тис. га), тоді як площа вирощування соняшнику — на 21,8% (до 405,1 тис. га). У сукупності рівень втрат

у 358,2 тис. га свідчив про фактичне виведення з продуктивного обігу 24,4% орних земель регіону порівняно з базовим показником 2021 року (рис. 1). Така інтенсивність скорочення тісно пов'язана із загальнонаціональною тенденцією (зменшення на 22,8%) [20], що робить Миколаївську область репрезентативним показником сільськогосподарських потрясінь, спричинених війною, на півдні України.

Тенденції впродовж чотирьох років війни свідчать про системні обмеження, а не про поступове відновлення. До 2025 р. площа посівів зернових і бобових досягла 713,5 тис. га, що на 1,2% більше, ніж найнижчий рівень 2022 р., але залишається на 24,9% нижчою за довоєнний рівень (рис. 1). Аналогічно, площа вирощування соняшнику стабілізувалася на рівні 412,8 тис. га (на 20,3% нижче базового рівня 2021 року). Загальна втрата 342,2 тис. га зберігається в обох категоріях культур. Цей ефект плато, коли оброблена площа стабілізується приблизно на рівні 70% від довоєнної потужності, суперечить традиційним траєкторіям післявоєнного відновлення, що характеризуються поступовою реінтеграцією земель. Тривале виключення понад третини орних земель свідчить про структурні перешкоди, що виходять за межі тимчасових економічних зривів, зокрема фізичної деградації ландшафту та забруднення.

Зниження врожайності відображає складну кризу, що виникає як унаслідок прямого впливу війни, так і внаслідок прискорення кліматичного стресу. Регіональні кліматичні оцінки показують, що індекс серйозності зміни клімату Миколаївської області досяг 62 (категорія “дуже високий”) у 2025 р., що свідчить про погіршення на 25,1% порівняно з базовим рівнем 2010–2024

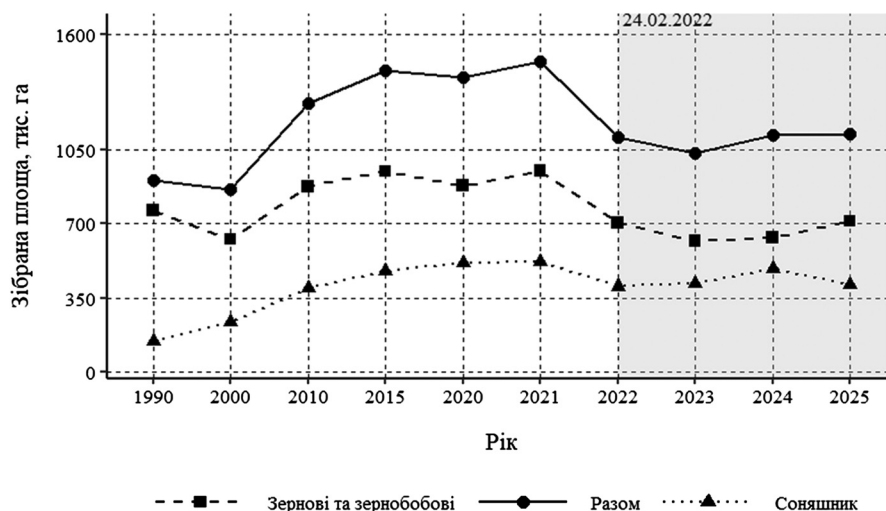


Рис. 1. Динаміка посівних площ у Миколаївській області, 1990–2025 рр.

Джерело: побудовано авторами на основі [20; 21].

років [22]. Ця кліматична деградація, що проявляється в посиленні екстремальних температур, безпосередньо вплинула на врожайність сільськогосподарських культур. У 2025 році врожайність зернових і бобових культур впала до 2,54 т/га — на 38,5% нижче пікового показника 2021 р. та лише 71,4% від середнього показника по країні (табл. 1). Урожайність соняшнику зазнала найбільшого скорочення та становила 0,93 т/га, що на 58,5% менше порівняно з 2021 р. і відповідає лише 49,5% від середнього рівня в Україні. Цей різкий спад урожайності був зумовлений передусім синергією екстремального теплового стресу й обмеженими можливостями впровадження адаптивних агротехнологій через ресурсні обмеження, спричинені війною.

Загальне зниження врожайності протягом періоду 2022–2025 рр. було зумовлене поєднанням обмежень, пов'язаних із війною: зростанням цін на паливо й агрохімікати, що обмежувало норми внесення добрив; гострою нестачею робочої сили через військову мобілізацію; знищенням важкої техніки внаслідок обстрілів; обмеженим доступом до іригаційної інфраструктури в прифронтових районах; деградацією структури ґрунту в розмінованих зонах, де вибухові вирви порушили схеми обробітку ґрунту. Взаємодія між кліматичною вразливістю й обмеженістю ресурсів, зумовленою війною, створила мультиплікативний, а не адитивний ефект щодо втрат продуктивності. Це “подвійне стиснення”, яке

визначається одночасним скороченням площі посівів і зменшенням виробництва на гектар, посилило загальні втрати виробництва.

Офіційна статистика розмінування за 2025 р. засвідчує критичні обмеження в сучасних підходах до відновлення земель. Піротехнічні підрозділи очистили 30,0 тис. га загальної території, зокрема 20,9 тис. га, визначені як сільськогосподарські угіддя [23]. Однак лише 1 723 га (5,7% від загальної площі) та 1 601 га (7,6% сільськогосподарських угідь) пройшли сертифіковані протоколи гуманітарного розмінування. Це означає, що 92,4% офіційно “очищених” сільськогосподарських угідь було оброблено швидкими оперативними методами, пріоритетом яких було відновлення доступу, а не комплексне видалення вибухонебезпечних предметів. У результаті відсутнє повне видалення глибоко закопаних невибухлих боєприпасів (НВБ), особливо на ландшафтах, сформованих вибуховими вирвами, де зміщення ґрунту приховує вибухонебезпечні предмети на глибині понад 1–2 м. Відповідно, попри офіційну сертифікацію очищення, ці землі часто залишаються виключеними з інтенсивного обробітку через залишкові ризики для важкої сільськогосподарської техніки та персоналу [24].

Мінімальна частка гуманітарного розмінування (сертифікованого за міжнародними стандартами, що вимагають систематичного підземного сканування та повної перевірки

Таблиця 1

**Сільськогосподарське виробництво
та показники врожайності в Миколаївській області, 2015, 2020–2025 рр.**

Параметр	Роки							
	2015	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2025 до 2021, %
<i>Зернові та зернобобові</i>								
Валове виробництво, тис. т	2 896,4	2 362,1	3 925,5	2 133,7	2 413,1	2 182,8	2 017,0	51,4
Частка у національному виробництві, %	4,8	4,6	4,6	4,0	4,0	3,9	3,8	82,6
Урожайність, т/га	3,05	2,68	4,13	3,03	3,91	3,44	2,54	61,5
Урожайність відносно середнього показника по країні, %	74,2	63,1	76,6	66,2	70,8	68,0	71,4	93,2
<i>Соняшник</i>								
Валове виробництво, тис. т	938,7	691,9	1 160,4	623,3	895,5	780,9	366,9	31,6
Частка у національному виробництві, %	13,9	6,2	7,1	5,5	7,0	7,1	4,1	57,7
Урожайність, т/га	1,97	1,35	2,24	1,54	2,11	1,56	0,93	41,5
Урожайність відносно середнього показника по країні, %	91,2	66,8	91,1	71,2	97,7	63,7	49,5	54,3

Джерело: розраховано авторами на основі [20; 21].

площі) пояснює постійний розрив між розміреною площею (20,9 тис. га сумарно у 2025 р.) та фактичним відновленням сільськогосподарських угідь (лише 8,3 тис. га фактичного збільшення за 2022–2025 рр. для зернових і бобових культур). Ця невідповідність свідчить про те, що землі, офіційно визначені як “розмірені”, автоматично не стають придатними для економічно вигідного або операційно безпечного сільськогосподарського використання.

Ця регіональна статистика визначає три критичні параметри для оцінки збитків, завданих конкретним об'єктам, та планування відновлення:

1. Рівень виведення земель у Миколаївській області на рівні 23,3% є репрезентативним орієнтиром для моделювання втрат сільськогосподарських потужностей, спричинених війною, у зерноробних регіонах півдня України.

2. Чотирирічна стагнація (2022–2025 рр.) свідчить про те, що без інтенсивного втручання пошкоджені війною сільськогосподарські угіддя не повертаються до виробництва спонтанно, що вимагає систематичних програм відновлення.

3. Розбіжність між охопленням оперативним розмінуванням (92,4%) та гуманітарною сертифікацією (7,6%) визначає ризик залишкового забруднення як основне обмеження для реінтеграції земель, особливо на місцевості з вибуховими вирвами, де традиційні методи очищення виявляються неефективними.

Отримані результати стали основою для подальшого польового аналізу щільності вибухових пошкоджень і просторових моделей їх розподілу в межах Снігурівської МТГ. Мікромасштабне картографування вибухових вирв дало змогу кількісно охарактеризувати фізичні порушення ґрунтового покриву, які зумовлюють втрати сільськогосподарської продуктивності на макрорівні.

У межах дослідної ділянки поблизу м. Снігурівка встановлено факт інтенсивного комбінованого артилерійського й авіаційного ураження, що призвело до формування численних вибухових вирв у межах продуктивного агроландшафту (рис. 2, 3).

Морфометричний аналіз, проведений з урахуванням методологічних підходів до оцінки порушень ґрунту [2], дав змогу виявити 98 окремих вибухових вирв. На основі розподілу їх діаметрів (табл. 2) ідентифіковано три класи боєприпасів.

Дрібномасштабні вирви ($n = 15$, діаметр 1,84–3,22 м, середнє значення $2,49 \pm 0,50$ м) відповідають мінометним снарядам (калібр 82/120 мм), що є локалізованими, але глибокими осередками проникнення в ґрунт. Вирви середнього масштабу ($n = 16$, діаметр 3,74–6,38 м, середнє значення $5,19 \pm 0,80$ м) відповідають артилерійським снарядам (152 мм), що характеризуються радіальними малюнками фрагментації, які порушують цілісність верхнього шару ґрунту.

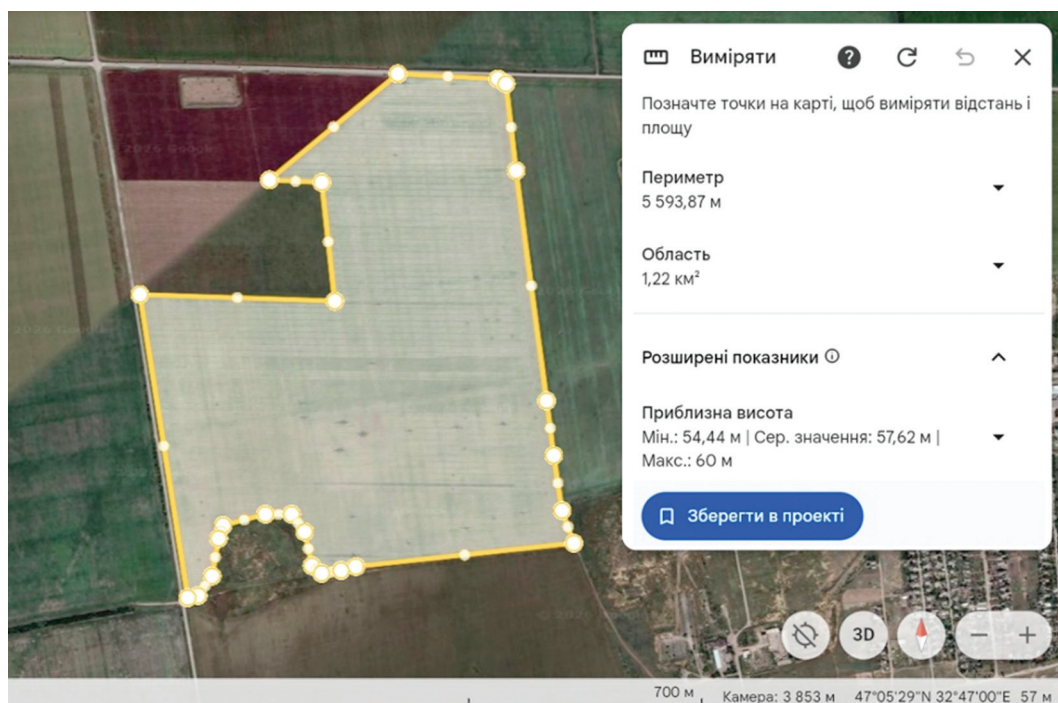


Рис. 2. Супутникові знімки дослідного поля (122 га) поблизу м. Снігурівка Миколаївської області
Джерело: Google Earth. Дата знімка: 03.06.2022. Масштаб: 700 м. Місцезнаходження: 47°05'27.0"N 32°46'18.3"E.

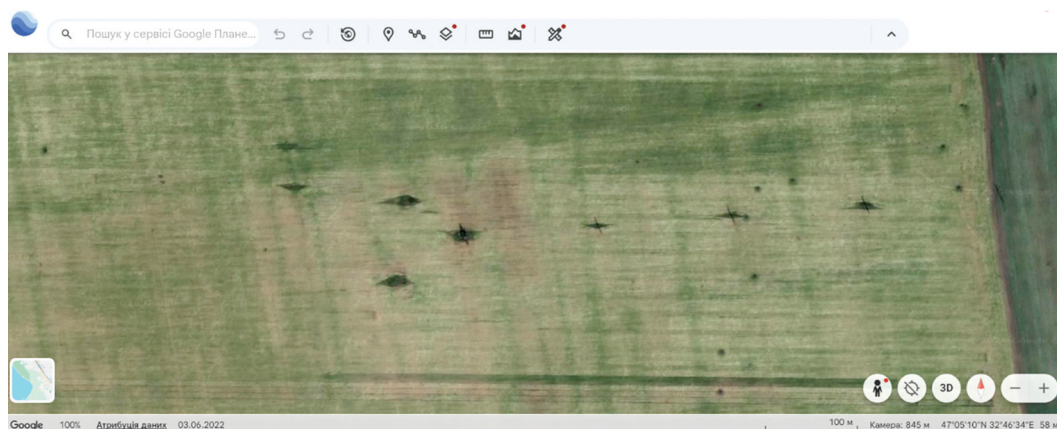


Рис. 3. Приклад пошкоджень дослідного поля поблизу м. Снігурівка Миколаївської області
Джерело: Google Earth. Дата зображення: 03.06.2022. Масштаб: 100 м. Місцезнаходження: 47°05'27.0"N 32°46'18.3"E.

Таблиця 2

**Морфометричні характеристики та класифікація боєприпасів
за вибуховими вирвами на дослідному полі ($n=98$, $\pm SD$)**

Розмір вирв	Орієнтовний тип боєприпасів	Кількість	Розмір діаметра, м	Середній діаметр, м	Середня площа, м ²	Загальна площа, м ²
1,5–3,5 м	Мінометні снаряди 82/120 мм	15	1,84–3,22	$2,49 \pm 0,50$	$5,04 \pm 2,02$	75,6
3,5–7,0 м	Артилерійські снаряди 152 мм	16	3,74–6,38	$5,19 \pm 0,80$	$21,61 \pm 6,56$	345,8
>7,0 м	Авіаційні бомби, ракети, РСЗВ	67	8,14–58,68	$19,68 \pm 11,86$	$412,95 \pm 580,01$	27 667,7
Усього	—	98	1,84–58,68	$12,67 \pm 11,97$	$286,41 \pm 520,21$	28 089,1

Джерело: сформовано авторами за результатами розрахунків в ImageJ.

Великомасштабні вирви ($n=67$, діаметр 8,14–58,68 м, середнє значення $19,68 \pm 11,86$ м) домінують у профілі пошкоджень і є наслідком влучання авіаційних бомб, ракет або реактивних систем залпового вогню (РСЗВ). Крайній верхній діапазон (58,68 м) свідчить про послідовне скупчення ударів, що призводить до утворення складних морфологій вирв, які перевищують потужність окремих боєприпасів. Як показано на рис. 4, неоднорідність розмірів вирв вказує на використання комбінованих видів озброєння.

Сумарна площа вибухових вирв становить 2,81 га, що відповідає 2,3% площі прямих ушкоджень поверхні поля загальною площею 122 га. Водночас цей показник суттєво занижує масштаби функціонального вилучення земель, оскільки зона екологічної деградації значно перевищує межі візуально ідентифікованих вирв унаслідок акумуляції викинутого ґрунту, його ущільнення під дією надлишкового вибухового тиску та поширення забруднення металевими фрагментами.

Загальний об'єм витісненого ґрунту на всіх 98 вирвах становить 73 125,7 м³ (табл. 3), що вимагає 2 438 циклів транспортування ґрунту за умови використання вантажних автомобілів місткістю 30 м³. Великомасштабні вирви формують основну частку об'ємних втрат, становлячи 99,6% від загального витіснення (72 858,5 м³), хоча їхня кількість становить 68% від загальної кількості вирв.

Повне відновлення дослідного масиву вимагає послідовного п'ятиетапного протоколу заходів відновлення: 1) сертифікація гуманітарного розмінування; 2) оцінка забруднення ґрунту; 3) механічна рекультивация; 4) хімічна меліорація; 5) довгострокова фіторе mediaція.

Фінансування гуманітарного розмінування може здійснюватися за рахунок коштів державного бюджету, міжнародної донорської допомоги та цільової підтримки іноземних держав-партнерів [25]. Орієнтовна вартість гуманітарного розмінування для зони прямого впливу площею 2,81 га становить 159,6 тис. грн (56,8 тис.

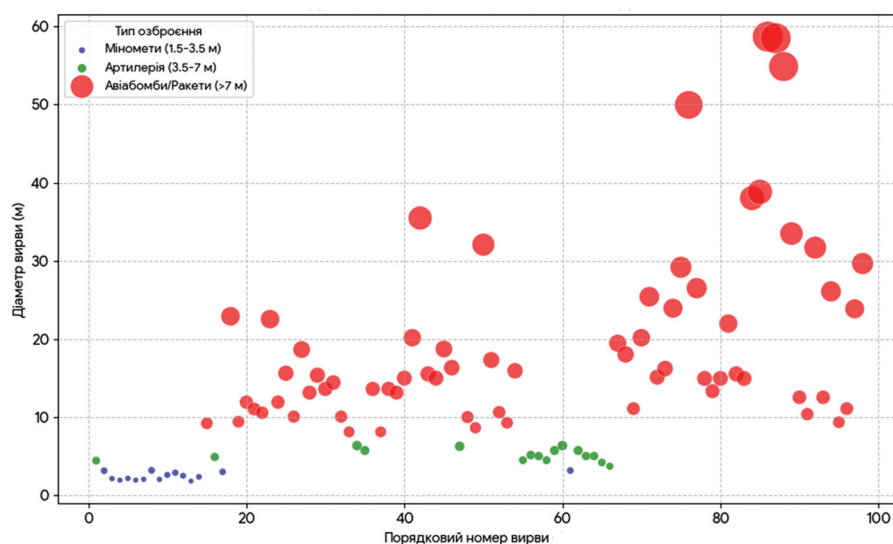


Рис. 4. Морфометричний розподіл вибухових вирв на дослідному полі

Джерело: побудовано авторами за результатами розрахунків в ImageJ.

Примітка. Розмір бульбашок відповідає діаметру вирви (м); кольорове кодування вказує на приблизний тип боєприпасу.

Таблиця 3

Розраховані об'єми зміщення ґрунту за розміром вирв на дослідному полі

Розмір вирв	Кількість	Середня площа, м ²	Середня глибина H, м	Об'єм вирв, м ³	Загальний об'єм, м ³
1,5–3,5 м	15	5,04	1,0 (0,4 × 2,49)	1,68	25,2
3,5–7,0 м	16	21,61	2,1 (0,4 × 5,19)	15,13	242,0
>7,0 м	67	412,95	7,9 (0,4 × 19,68)	1087,44	72 858,5
Усього	98	—	—	—	73 125,7

Джерело: розраховано та сформовано авторами.

грн/га [26]) та може бути покрита за рахунок зовнішнього фінансування.

Дорекультиваційний аналіз навколишнього середовища потребує систематичного відбору проб по всій зоні вирв площею 2,81 га для кількісної оцінки забруднення важкими металами й іншими хімічними речовинами, а також для визначення радіологічного фону. Аналіз репрезентативних зразків за основними параметрами в сертифікованих лабораторіях коштує 6,9 тис. грн за зразок з 20 параметрів, що з урахуванням кількості проб (одна на 0,3 га) загалом становить 69 тис. грн для базової характеристики [27]. Ці інвестиції дають змогу розробляти цільові приписи щодо поліпшення стану та формують юридичну документацію для позовів про відшкодування збитків після війни.

Механічне відновлення складається з двох основних компонентів: реінтеграції ґрунту на місці та заміни верхнього шару ґрунту:

1. Унаслідок об'ємних втрат, спричинених вибуховим стисненням та подрібненням, утворився критичний дефіцит ґрунту обсягом 73 125,7 м³. Для заповнення залишкових порожнин і створення чистого шару ґрунту для проростання культур необхідно імпортувати родючий чорнозем із незабруднених районів. Комерційна ціна на верхній шар ґрунту (6,5 тис. грн/м³, включаючи доставку) призводить до загальних витрат на матеріали в розмірі 47,53 млн грн. Ці витрати становлять 88,2% від загального бюджету на відновлення, що робить придбання ґрунту основним економічним обмеженням у післявоєнному відновленні сільського господарства.

2. Підготовка вибухових вирв потребує скоординованого заготтіння із застосуванням бульдозерів потужністю 132 кВт (180 к.с.) і кар'єрних або сільськогосподарських самоскидів із місткістю кузова близько 30 м³. Викинутий ґрунт, локалізований по краях вирви та по-

тенційно забруднений важкими металами, механічно вдавлюється назад у порожнини з подальшим вирівнюванням поверхні. Такий підхід забезпечує збереження забрудненої ґрунтової матриці *in situ* для подальшої фіторе mediaції, уникаючи потреби в дорогій утилізації за межами ділянки. Загальний обсяг робіт відповідає приблизно 2438 циклам транспортування ґрунту. Витрати, розраховані на основі порівнянних проєктів відновлення, зокрема на прикладі забрудненої сільськогосподарської ділянки в Степанівській сільській раді Шахтарського району Донецької області [28], становлять 5,96 млн грн (11,1% бюджету). Ця сума передбачає оренду обладнання, споживання палива та заробітну плату оператора протягом орієнтовного періоду реалізації 6–8 тижнів.

Вибухові детонації підкислюють ґрунти шляхом мобілізації важких металів та утворення оксидів азоту під час горіння. Емпіричні дані з бойових зон свідчать про зниження рН ґрунтів, прилеглих до вирв, до рівня 3,0–4,0, що вимагає вапнування [1]. Для сильно забруднених ґрунтів рекомендовані норми внесення вапна досягають 4,5 т/га [29].

Загальна площа рекультивації становить 14,1 га, що відповідає коефіцієнту просторового розширення 5,0 відносно фізичної площі вирв (2,81 га). Для розрахунків застосовано верхнє значення теоретичного діапазону розсіювання забруднення (зазвичай у 3–5 разів більше площі безпосереднього ураження), як зазначено в дослідженнях [1]. Такий консервативний підхід обґрунтований двома критичними факторами: морфометричним домінуванням вибухових уражень, сформованих боєприпасами великого калібру (>60% від загальної кількості ударів), які генерують ширші аерозольні розсіювальні шлейфи, та високим ступенем скупчення вирв, що створює перекриваючі геохімічні ореоли, які потребують комплексного управління ґрунтом.

Необхідний обсяг гранульованого вапняку (CaCO_3 92–98%, фракція 3–7 мм) для 14,1 га ста-

новить 63,5 т. За ціною доставки 4,5 тис. грн/т загальна сума становить 285,8 тис. грн. Механічне замішування з використанням тракторів потужністю 300 кВт вимагає додаткових витрат у розмірі 45,6 тис. грн, унаслідок чого загальна вартість робіт зростає до 331,4 тис. грн (0,6% від бюджету).

Узагальнені витрати на проведення комплексу заходів із технічної та агрохімічної рекультивації (без урахування розмінування) становлять 53,9 млн грн (табл. 4). Урахування гуманітарного розмінування збільшує загальні витрати до 54,0 млн грн. Інтенсивність відновлення досягає 443,0 тис. грн/га для всього поля площею 122 га, при цьому потенційне забруднення зосереджене на площі 14,1 га, що демонструє високий рівень локалізації пошкодження на обробленій території. Ці цифри підтверджують концентрований економічний тягар, спричинений локалізованим, але серйозним фізичним руйнуванням.

Окрім об'ємних втрат ґрунту, фрагментація боєприпасів унаслідок вибухів створює значні скупчення металевих уламків, що ускладнюють не лише операції з розмінування, а й довгострокове відновлення ґрунту. Емпіричні дані щодо фрагментації від порівнянних типів боєприпасів на основі усереднених тактико-технічних характеристик [30] дають такі оцінки загальної кількості фрагментів: мінометні снаряди ($15 \text{ влучань} \times \sim 1\,600 \text{ фрагментів на снаряд}$) — 24 тис. фрагментів; артилерійські снаряди ($16 \times \sim 2\,400$) — 38,4 тис. фрагментів; великі боєприпаси ($67 \times \sim 3\,000$) — 200 тис. фрагментів. Загалом це дає близько 262,4 тис. металевих фрагментів, розподілених по зоні площею приблизно 14,1 га навколо видимих вирв. Така щільність забруднення ($\sim 18,6 \text{ тис. фрагментів на га}$) робить звичайні металопукачі неефективними через постійні хибні сигнали, що вимагає застосування трудомістких ручних протоколів розкопок. Це суттєво збільшує терміни очищення та витрати. Окрім того, окислення металевих

Таблиця 4

Структура витрат на відновлення дослідного поля (122 га)

Компонент витрат	Витрати, тис. грн	Частка в бюджеті, %
Аналіз забруднення ґрунту	59,0	0,1
Заміна верхнього шару чорнозему	47 530,0	88,2
Механічні операції	5 960,0	11,1
Вапнування	331,4	0,6
Проміжний підсумок	53 880,4	100,0
Гуманітарне розмінування (довідкова вартість)	(159,6)	(0,3)
Усього з розмінуванням	(54 040,0)	—

Джерело: розраховано та сформовано авторами.

фрагментів поступово вивільняє мідь, свинець та інші токсичні метали в ґрунтовий розчин, створюючи постійні ризики фітотоксичності навіть після завершення механічної рекультивациі.

Отже, навіть після завершення гуманітарного розмінування, яке спрямоване насамперед на виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів, проблема масової фрагментації металу в ґрунті залишається невирішеною. Наявність сотень тисяч металевих уламків формує довготривале техногенне навантаження, що потребує окремих інженерно-екологічних рішень. Перспективним напрямом є застосування гібридних стратегій відновлення, зокрема поєднання гуманітарного розмінування з фізичними методами вилучення феромагнітних фрагментів перед проведенням агротехнічних операцій. Як показано в огляді [31], методи фізичного вилучення, включаючи високоградієнтну магнітну сепарацію, можуть бути ефективними для видалення твердих металевих домішок із ґрунтової матриці за умови попереднього скринінгу й адаптації до високої просторової

неоднорідності воєнних уламків. Хоча такі підходи є трудомісткими, цілеспрямоване вилучення феромагнітного матеріалу здатне суттєво знизити вторинне хімічне забруднення ґрунту та ризики фітотоксичності на постконфліктних сільськогосподарських землях.

Пострекультивацийне відновлення земель сільськогосподарського призначення потребує систематичної фіторемедіації, спрямованої на відновлення фізико-хімічних властивостей ґрунту, накопичення органічної речовини та зниження залишкової токсичності, зумовленої забрудненням важкими металами вибухового походження (Pb, Cd, Cu, Zn). Розроблена п'ятнадцятирічна схема сівозміни передбачає використання трьох функціональних груп культур, відібраних за результатами багатокритеріального факторного аналізу з урахуванням регіональних кліматичних обмежень і необхідності забезпечення економічної сталості проєкту з відновлення дослідного масиву (табл. 5):

1. *Функціональна комплементарність у процесах фіторемедіації*. Для забезпечення комплексного очищення ґрунтового середовища

Таблиця 5

Схема фіторемедіаційної сівозміни та прогнози продуктивності біомаси

Рік	Культура (сорт)	Функціональна роль	Вихід біомаси, т/га сухої речовини	Енергетична цінність, МДж/кг
1	Сафлор красильний (<i>C. tinctorius</i>) сорту Лагідний	Стабілізація	6,0 (солома)	16,5
2	Буркун лікарський жовтий (<i>M. officinalis</i>) сорту Колдибанський	Встановлення азотфіксації	0 (стабілізаційний рік)	–
3	Буркун лікарський жовтий (2-й рік вегетації)	Ризодеградація (мікробна стимуляція)	9,0	17,2
4	Зернове сорго (<i>S. bicolor</i>) сорту Одеський 205	Фітоекстракція	12,0	16,8
5	Сафлор красильний сорту Сонячний	Хімічна стабілізація ґрунту	6,0	16,5
6	Буркун білий (<i>M. albus</i>) сорту Іній	Ротація сортів, азотфіксація	0	–
7	Буркун білий (2-й рік вегетації)	Біоаугментація ризосфери	9,0	17,2
8	Зернове сорго сорту Одеський 205	Екстракція металів	12,0	16,8
9	Сафлор красильний сорту Живчик	Структурне покращення	6,0	16,5
10	Буркун жовтий сорту Колдибанський	Поповнення органічної речовини	0	–
11	Буркун жовтий (2-й рік вегетації)	Мобілізація фосфатів	9,0	17,2

Закінчення таблиці 5

Рік	Культура (сорт)	Функціональна роль	Вихід біомаси, т/га сухої речовини	Енергетична цінність, МДж/кг
12	Зернове сорго сорту Одеський 205	Видалення залишкових металів	12,0	16,8
13	Сафлор красильний сорту Лагідний	Моніторинг перед переходом	6,0	16,5
14	Сорго сорту Дніпровський 39	Фінальна фітоекстракція	12,0	16,8
15	Сафлор красильний сорту Сонячний	Готовність до екологічної сертифікації	6,0	16,5

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Примітка. Роки розвитку буркуну (2, 6, 10) не генерують товарної біомаси.

(едафотопу) від різнорідних забруднень, характерних для зон бойових дій (важкі метали, залишки паливно-мастильних матеріалів, продукти вибухів), застосовано принцип функціональної комплементарності культур:

- Сорго (*Sorghum bicolor*) використовується як культура з високим фітоекстракційним потенціалом завдяки здатності ефективно поглинати важкі метали (Cd, Zn, Pb) та транслокувати їх у надземну біомасу, що забезпечує фізичне вилучення полутантів шляхом відчуження врожаю [32].

- Буркун (*Melilotus* spp.) включено до сівозміни з огляду на його здатність стимулювати ризосферні мікробіологічні процеси, зокрема ризодеградацію органічних забрудників (поліциклічні ароматичні вуглеводні, нафтопродукти), через активацію спеціалізованих мікробних угруповань [33].

- Сафлор (*Carthamus tinctorius*) використовується як культура фітостабілізації, здатна закріплювати забруднення в глибших горизонтах ґрунту та поліпшувати його агрофізичні властивості [34].

2. *Адаптивність до посушливих умов степової зони.* Сорго належить до рослин типу C₄-фотосинтезу, що забезпечує високу ефективність використання води, толерантність до посухи та підвищеної мінералізації ґрунтів. Сафлор і буркун характеризуються добре розвинутою стрижневою кореневою системою, здатною проникати на глибину понад 1,5–2,0 м, що дає змогу використовувати вологу з нижніх ґрунтових горизонтів і здійснювати біологічне розуцільнення деградованих шарів.

3. *Мінімізація ризиків потрапляння токсичних елементів у харчовий ланцюг та економічна доцільність.* Для уникнення ризиків потрапляння акумульованих токсинів у харчо-

вий ланцюг усю отриману біомасу передбачається спрямовувати виключно на технічні цілі, зокрема на виробництво твердого біопалива. Обрані культури характеризуються високим виходом сухої речовини та підвищеним вмістом лігніну, що забезпечує необхідну теплотворну здатність паливної сировини та економічну рентабельність рекультиваційних заходів.

Розроблена програма вирощування чергують функціональні групи культур для запобігання ателопатичній втомі ґрунту, водночас зберігаючи постійний тиск фіторемедіації. Консервативні оцінки врожайності обрано для моделювання песимістичного сценарію з урахуванням залишкової деградації ґрунту та дефіциту вологи, типового для Миколаївської області. Прогнозовані показники врожайності біомаси й енергії (табл. 5) базуються на біологічному потенціалі вибраних сортів за умов посушливого регіону.

Вибір 15-річного горизонту планування обґрунтований необхідністю проходження трьох послідовних фаз рекультивації:

- *стабілізаційної* (1–5-й роки) — для інтенсивної фіторемедіації та нейтралізації залишків нітросполук;
- *регенеративної* (6–10-й роки) — для відновлення структури ґрунту та накопичення органічної речовини через кореневу систему багаторічних трав;
- *адаптивної* (11–15-й роки) — для поступового повернення до продуктивної сівозміни та досягнення повної самоокупності витрат на меліорацію. Такий термін узгоджується з міжнародним досвідом відновлення белігеративних ландшафтів, де період детоксикації та фізичної реабілітації ґрунтів після масованих обстрілів становить не менше 10–12 років [5; 14].

Результати дослідження свідчать про суттєву різницю між агрегованими оцінками шкоди, отриманими за допомогою дистанційного моніторингу, та фактичними морфологічними даними. Тоді як регіональні оцінки в дослідженні [15] зафіксували лише 38 випадків вибухових подій на території всієї Снігурівської МТГ, детальне польове обстеження сільськогосподарської ділянки площею 122 га виявило 98 вибухових вирв. Така розбіжність відображає різницю в методологічному підході, а не в непослідовності даних, і свідчить про те, що оцінки на основі подій можуть значно занижувати щільність фізичної деструкції ґрунту на рівні окремої ділянки.

Отримані результати морфометричного аналізу узгоджуються з висновками [1], які показали, що сучасні авіаційні боєприпаси спричиняють значно більші об'ємні зміщення ґрунту порівняно з боєприпасами періоду історичних війн. Домінування великомасштабних вирв, які становлять 68% від загальної кількості, робить стандартні протоколи рекультивациі поверхневого шару ґрунту недостатніми. Фізична деградація додатково посилюється асиметрією між оперативним розмінуванням (охоплення 92,4%) та гуманітарною сертифікацією (7,6%), що зумовлює збереження глибоко залягаючих ризиків на місцевості з вибуховими вирвами.

У цьому контексті запропонований перехід до вирощування *Sorghum bicolor* та *Carthamus tinctorius* є екологічно обґрунтованим. На відміну від соняшнику, сорго використовує фотосинтетичний шлях C_4 [32], що забезпечує стабільне формування біомаси навіть за умов інтенсивного теплового стресу, характерного для Миколаївської області. Порівняльні дослідження у напівпосушливих регіонах підтверджують, що сорго зберігає фізіологічну активність і продуктивність за значного дефіциту вологи, тоді як традиційні культури типу C_3 (пшениця, ячмінь) зазнають критичного зниження врожайності [9].

Додатково включення видів роду *Melilotus* виконує подвійну функцію: сприяє відновленню структури ґрунту завдяки розвитку глибокої кореневої системи та компенсує порушення ланцюгів постачання мінеральних добрив. Як засвідчено в канадських проєктах відновлення прерій [35], дворічні бобові культури здатні фіксувати 80–150 кг азоту на гектар за рік, ефективно поповнюючи запаси поживних елементів у ґрунті без застосування синтетичних азотних добрив.

Критична оцінка витрат на відновлення об'єкта дослідження (443,0 тис. грн/га) показує, що вони значно перевищують безпосередню ринкову вартість сільськогосподарських зе-

мель у регіоні, яка у 2024 р. була зафіксована як найнижча в Україні (34,0 тис. грн/га) [36]. Дані післявоєнних оцінок на Балканах, зокрема в Боснії та Герцеговині, свідчать, що така економічна нерівність часто призводить до довгострокового занедбання земель, а не їх відновлення. Зокрема, в "Інвентаризації післявоєнних земельних ресурсів" ФАО зафіксовано, що, незважаючи на можливості технічної рекультивациі, величезні площі залишалися необроблюваними через непомірні витрати на розмінування та реконструкцію ґрунтів порівняно з потенційними доходами від сільськогосподарських культур [5].

Водночас запропонована фіторе mediaційна стратегія враховує довгострокові кліматичні ризики, що робить її стійкою до змін у часовому вимірі. Регіональні прогнози для півдня України [8; 37] передбачають подальше скорочення опадів у вегетаційний період (на 15–20% у літні місяці) до 2050 року. Такий сценарій підтверджує правильність відмови від традиційних вологолюбних монокультур уже сьогодні, а в майбутньому може вимагати інтродукції ультрапосушливих видів, таких як *Pennisetum glaucum* або *Eragrostis tef*. Наші результати показують, що саме інтегровані біологічні системи (поєднання злакових C_4 , глибококоренових технічних культур та азотфіксаторів) демонструють вищу адаптивність до нестабільних гідротермічних умов Степу порівняно з монокультурними підходами. Це також корелює з нещодавніми оцінками [38], які вказують на полікультурні системи як на єдиний шлях забезпечення стабільності агропромисловості в умовах зростаючої кліматичної мінливості.

У підсумку це дослідження окреслює межі економічної реальності відновлення постраждалих сільськогосподарських земель. Установлений 11-кратний дисбаланс між вартістю технічної рекультивациі та ринковою ціною землі свідчить про те, що без переходу до низьковитратних біологічних стратегій значні площі деокупованих територій можуть залишитися в стані довгострокової стагнації (зони відчуження). Отже, запропонована фіторе mediaційна модель на цьому етапі є безальтернативним технологічним рішенням для збереження земельного фонду та створення біологічної основи для подальших економічно стійких сценаріїв повоєнного відновлення.

ВИСНОВКИ

Польові дослідження деокупованої сільськогосподарської земельної ділянки в Снігурівській МТГ Миколаївської області засвідчили високий рівень фізичної деструкції ґрунтового покриву. На площі 122 га ідентифіковано 98 ви-

бухових вирв із діаметрами від 1,8 до понад 60 м, що відповідає середній щільності 0,8 вирви на гектар. Сумарний обсяг переміщеного ґрунту перевищив 73,0 тис. м³.

Економічні розрахунки показали, що прямі витрати на технічну рекультивацию й агрохімічну меліорацію становлять у середньому 443,0 тис. грн/га у перерахунку на всю площу дослідного поля, що істотно перевищує середню ринкову вартість сільськогосподарських земель у регіоні й зумовлює високий ризик довгострокового виведення деокупованих територій з агровиробництва за відсутності альтернативних підходів.

Обґрунтовано доцільність поетапного агробіологічного відновлення ґрунтів шляхом упро-

вадження фіторе mediaційної сівозміни з використанням сорго, сафлору та буркуну, адаптованих до посушливих умов Степу. Запропонована схема поєднує стабілізацію ґрунту, ризосферну біоаугментацію та поліпшення його структурного стану, створюючи передумови для поступового відновлення функціональної придатності агроландшафтів.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з економічною оцінкою та бізнес-моделюванням відновлення деокупованих агроландшафтів з урахуванням біоенергетичного формування доданої вартості фітомаси з метою обґрунтування фінансово стійких моделей повернення деградованих земель до сільськогосподарського використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Certini, G., Scalenghe, R., & Woods, W. I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1–15. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.08.009
2. Hupy, J. P., & Schatzel, R. J. (2006). Introducing “bombturbation”, a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*, 171(11), 823–836. doi: 10.1097/01.ss.0000228053.08087.19
3. Cherevko, I. (2022). Challenges for fodder production in Ukraine during the war. *Rural Sustainability Research*, 48(343), 24–33. doi: 10.2478/plua-2022-0013
4. Beznosiuk, M. (2025). Landmines and land use: Unblocking Ukraine's rural and climate recovery. Italian Institute for International Political Studies. Retrieved from <https://www.ispionline.it/en/publication/landmines-and-land-use-unblocking-ukraines-rural-and-climate-recovery-214597>
5. Verhey, W., Boban, T., & Sicignano, A. (2007). Inventory of post-war situation of land resources in Bosnia and Herzegovina (GCP/BIH/002/ITA): Final tripartite evaluation mission report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & Italian Technical Assistance (ITA).
6. Lievens, C., Yperman, J., Vangronsveld, J., & Carleer, R. (2008). Study of the potential valorisation of heavy metal contaminated biomass via phytoremediation by fast pyrolysis: Part I. Influence of temperature, biomass species and solid heat carrier on the behaviour of heavy metals. *Fuel*, 87(10–11), 1894–1905. doi: 10.1016/j.fuel.2007.10.021
7. Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., ... Mench, M. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: Lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(7), 765–794. doi: 10.1007/s11356-009-0213-6
8. Karamushka, V., Boychenko, S., Kuchma, T., & Zabarna, T. (2022). Trends in the environmental conditions, climate change and human health in the southern region of Ukraine. *Sustainability*, 14(9), Article 5664. doi: 10.3390/sul4095664
9. Hossain, M. S., Islam, M. N., Rahman, M. M., Mostofa, M. G., & Khan, M. A. R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, Article 100300. doi: 10.1016/j.jafr.2022.100300
10. Bonchkovskiy, O. S., Ostapenko, P. O., Shvaiko, V. M., & Bonchkovskiy, A. S. (2023). Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 32(3), 474–487. doi: 10.15421/112342
11. Petrushka, K., Petrushka, I., & Yukhman, Y. (2023). Assessment of the impact of military actions on the soil cover at the explosion site by the Nemerov method and the Pearson coefficient: Case study of the city of Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 24(10), 77–85. doi: 10.12911/22998993/170078
12. Bonchkovskiy, O., Ostapenko, P., Bonchkovskiy, A., & Shvaiko, V. (2025). War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*, 964, Article 178594. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.178594
13. Нейтер, Р., Зоря, С., & Муляр, О. (2024). Збитки, втрати та потреби сільського господарства через повномасштабне вторгнення. Київ: KSE.
14. Балюк, С. А., Кучера, А. В., & Ромашенко, М. І. (Ред.). (2024). Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення. Київ: Аграрна наука.
15. Мудрак, О. В., Лавров, В. В., Харченко, С. О., & Мудрак, Г. В. (2025). Екологічні наслідки воєнних дій для земельних ресурсів Снігурівської громади Миколаївської області. *Збалансоване природокористування*, 3, 67–77. doi: 10.33730/2310-4678.3.2025.342529
16. Чайка, Т. О., & Короткова, І. В. (2023). Напрями та технології відтворення родючості ґрунтів в Україні в післявоєнний період. *Агробіологія*, 1, 142–156. doi: 10.33245/2310-9270-2023-179-1-142-156
17. Poliakova, L., & Abruscato, S. (2023). Supporting the recovery and sustainable management of Ukrainian forests and Ukraine's forest sector. Bonn: FOREST EUROPE.