



ISSN 2310-4678

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

# ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

1/2026



# ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Виходить 4 рази на рік

№ 1/2026

## 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 хаб. (Республіка Польща)  
**Білотіл Валентина Юріївна** • доктор філософії (PhD з економіки) (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 (PhD з економіки) (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 № 1 від 17 лютого 2026 р.).*

Відповідальність за добір і викладення фактів несуть автори.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

---

Підписано до друку 25.02.2026 р. Формат 60×84/8. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 14,0. Наклад 300 прим. Зам. № ЗП-01-26.

Оригінал-макет та друк ТОВ “ДІА”. 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 45.

---

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Дребот О. І., Клим Н. М.</b><br>Системний підхід до еколого-економічного розвитку фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування                                             | 5  |
| <b>Калина Т. Є., Ступень Р. М., Арзуманян Т. Ю.</b><br>Розвиток рекреаційного лісокористування в Україні: фінансово-економічні інструменти та євроінтеграційні орієнтири                         | 12 |
| <b>Ярова І. Є.</b><br>Компенсаційний еколого-економічний механізм у системі збалансованого просторового розвитку лісового господарства                                                           | 21 |
| <b>Скрипчук П. М., Фроленкова Н. А., Чата Р. В., Логвин С. Ю.</b><br>Диджиталізація та ключові бізнес-процеси малих форм господарювання в агробізнесі                                            | 28 |
| <b>Головань Л. В., Клименко І. В., Чуприна Ю. Ю., Коляда О. В.</b><br>Стратегії сталого розвитку як основа інтеграції екологічної відповідальності та корпоративних інновацій                    | 36 |
| <b>Тихенко О. М., Коновалов А. О.</b><br>Моніторинг та аналіз рівнів електромагнітного забруднення в урбанізованому середовищі                                                                   | 45 |
| <b>Мудрак О. В., Дем'янюк О. С., Магдійчук А. П., Антонюк Ю. П.</b><br>Менеджмент природних екосистем НПП "Кармелюкове Поділля" для досягнення цілей сталого розвитку Східноpodільського регіону | 51 |
| <b>Мокрий В. І., Арустамян Е. М., Бондарь В. І., Казимира І. Я., Паньковська Г. П.</b><br>Флуоресцентне тестування бука європейського в Національному природному парку "Північне Поділля"        | 62 |
| <b>Дідур І. М.</b><br>Економічна оцінка технології вирощування томата за різних способів вирощування розсади                                                                                     | 71 |
| <b>Пархоменко М. М., Халеп Ю. М.</b><br>Економічна ефективність мікробних препаратів за вирощування сільськогосподарських культур у різних сівозмінах                                            | 77 |

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Drebot O., Klym N.</b><br>Systemic approach to the ecological and economic development of the financial and economic mechanism of recreational forest use                                                                  | 5  |
| <b>Kalina T., Stupen R., Arzumanian T.</b><br>Development of recreational forest use in Ukraine: financial and economic instruments and European integration priorities                                                       | 12 |
| <b>Yarova I.</b><br>Compensatory ecological and economic mechanism in the system of balanced spatial development of forestry                                                                                                  | 21 |
| <b>Skrypchuk P., Frolenkova N., Chata R., Lohvyn S.</b><br>Digitalization and key business processes of small agricultural enterprises in agribusiness                                                                        | 28 |
| <b>Golovan L., Klymenko I., Chupryna Yu., Koliada O.</b><br>Sustainable development strategies as a basis for the integration of environmental responsibility and corporate innovations                                       | 36 |
| <b>Tykhenko O., Konovalov A.</b><br>Monitoring and analysis of electromagnetic pollution levels in an urbanized environment                                                                                                   | 45 |
| <b>Mudrak O., Demyanyuk O., Mahdiichuk A., Antoniuk Yu.</b><br>Management of natural ecosystems of the Karmeliukove Podillia National Nature Park to achieve the sustainable development goals of the Eastern Podillia region | 51 |
| <b>Mokryi V., Arustamian E., Bondar V., Kazymyra I., Pankovska H.</b><br>Fluorescence testing of European beech in the Northern Podillia National Nature Park                                                                 | 62 |
| <b>Didur I.</b><br>Economic evaluation of tomato growing technology under different seedling growing methods                                                                                                                  | 71 |
| <b>Parkhomenko M., Khalep Yu.</b><br>Economic efficiency of microbial preparations for growing agricultural crops in various crop rotations                                                                                   | 77 |

## ЗМІСТ

**Гордієнко М. В., Грищенко Р. Є.**

Елементи структури врожаю  
та врожайність проса залежно  
від технології вирощування  
у Правобережному Лісостепу

84

**Панцирева Г. В.**

Ефективність використання мікродобрив  
у позакореновому підживленні  
кукурудзи на зерно в умовах Лісостепу  
Правобережного

91

**Ткачук О. П., Гуцол Г. В., Ковка Н. С.**

Агроекологічне обґрунтування  
ефективності застосування  
мікробних біопрепаратів у посівах  
пшениці озимої в контексті збереження  
стійкості ґрунтів

97

**Болоховська В. А., Нагорна О. В.,  
Яковенко Д. О., Янсе Л. А., Бородай В. В.**

Економічна ефективність застосування  
біопрепаратів Граундфікс, Азотохелп,  
Липосам та Органік-Баланс  
у технології вирощування  
пшениці озимої та кукурудзи

104

**Adamchuk-Chala N., Subramanian S.,  
Lefsrud M., Chala Ye.**

Artificial biological systems  
for terrestrial and space agriculture:  
plant-microbial complexes  
and adaptation mechanisms

113

Правила для авторів. . . . . 118

## CONTENTS

**Hordiienko M., Hryshchenko R.**

Yield structure components and grain  
productivity of proso millet depending  
on cultivation technology in the Right-Bank  
Forest-Steppe

84

**Pantsyрева H.**

Efficiency of using micronutrient  
fertilizers in foliar feeding of grain maize  
under the conditions of the Right-Bank  
Forest-Steppe

91

**Tkachuk O., Hutsol H., Kovka N.**

Agroecological substantiation  
of the efficiency of the application  
of microbial biopreparations  
in winter wheat crops in the context  
of preserving soil resilience

97

**Bolohovska V., Nahorna O.,  
Yakovenko D., Yanse L., Borodai V.**

Economic efficiency of using  
Groundfix, Azotohelp, Liposam,  
and Organic-Balance bioproducts  
in the technology of winter  
wheat and maize cultivation

104

**Адамчук-Чала Н. І., Субраманіан С.,  
Лефсруд М., Чала Є.**

Штучні біологічні системи  
для наземного та космічного  
землеробства: рослинно-мікробні  
комплекси та механізми адаптації

113

Rules for authors. . . . . 118

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОГО МЕХАНІЗМУ  
РЕКРЕАЦІЙНОГО ЛІСОКОРИСТУВАННЯ****О. І. Дребот***доктор економічних наук, професор, академік НААН**Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)**e-mail: drebot\_oksana@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>***Н. М. Клим***кандидат економічних наук, доцент**Національний лісотехнічний університет України (м. Львів, Україна)**e-mail: klym.nadya@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4949-6644>*

У статті досліджено теоретико-методологічні засади формування фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування в умовах трансформації лісового сектору та децентралізації управління. Визначено ключові суперечності між інтенсивністю рекреаційного навантаження та здатністю лісових екосистем до самовідновлення, що зумовлює необхідність установаження екологічно обґрунтованих лімітів використання ресурсів. Обґрунтовано доцільність застосування системного підходу до розгляду рекреаційного лісокористування як багаторівневої соціо-еколого-економічної системи, що поєднує природний, господарський, інституційний і соціальний підсектори. Удосконалено підходи до побудови фінансово-економічного механізму через інтеграцію інструментів економічного стимулювання, екологічного моніторингу та механізмів державно-приватного партнерства. Запропоновано концептуальну модель системного управління рекреаційним лісокористуванням, що передбачає взаємодію ресурсів, інструментів і результатів з урахуванням принципів сталого розвитку. Визначено напрями підвищення ефективності використання лісових ресурсів, забезпечення фінансової самодостатності територій і збереження екосистемних функцій лісів у довгостроковій перспективі.

**Ключові слова:** еколого-економічний механізм, лісовий сектор, рекреація, збалансований розвиток, лісові екосистеми, моніторинг, інструменти.

**ВСТУП**

Рекреаційне лісокористування є важливим аспектом сталого розвитку, оскільки поєднує екологічні та економічні вигоди. Проте баланс між збереженням природних ресурсів і задоволенням рекреаційних потреб ускладнюється низкою чинників. Основним із них є надмірне навантаження на екосистеми, що призводить до деградації лісових масивів. Необхідність забезпечення фінансової стійкості рекреаційного лісокористування також потребує уваги, адже інвестиції у збереження та розвиток лісів часто є недостатніми [1]. Отже, ключовою проблемою рекреаційного лісокористування є суперечність між інтенсивністю рекреаційного навантаження та здатністю лісових екосистем до самовідновлення, що актуалізує потребу у встановленні науково обґрунтованих екологічних лімітів. Вирішення цієї суперечності неможливе без формування дієвого фінансово-економічного механізму, здатного забезпечити достатній рівень інвестицій у збереження, відтворення та сталий розвиток лісових територій.

У сучасних умовах трансформації лісового господарства та децентралізації управління особливу увагу приділяють раціональному використанню лісових ресурсів, зокрема в регіонах з обмеженим запасом стиглих насаджень. Традиційні підходи до лісокористування потребують переоцінки, і одним із ключових напрямів стає розвиток рекреаційного лісокористування. Воно не лише сприяє економічній ефективності, а й відкриває нові можливості для комерціалізації екосистемних послуг, таких як туризм, оздоровчі та екологічні програми [2–5].

Лісові екосистеми мають не лише господарське значення, а й важливу рекреаційну функцію. До таких ресурсів належать не тільки власне лісові масиви, а й супутні біологічні ресурси — гриби, ягоди, мисливські угіддя, а також окремі об'єкти природно-заповідного фонду, де дозволена туристична та оздоровча діяльність. Особливу цінність у рекреаційному плані становлять ліси, які позитивно впливають на здоров'я людини та мають унікальні властивості [6].

Розвиток рекреаційного лісокористування дає змогу зберегти традиційні функції лісу як джерела деревини та побічної лісопродукції, водночас перетворюючи його на джерело соціально-економічних благ. Завдяки цьому лісові території набувають нової ролі — продуцентів рекреаційних послуг, що сприяє їх комплексному використанню.

Отже, рекреаційне лісокористування виконує одночасно природоохоронну, соціальну та економічну функції. Проте в практиці управління часто домінує короткострокова логіка доходів, що призводить до перевантаження лісових територій, деградації екосистемних послуг і недофінансування заходів із відновлення. У зв'язку з цим необхідне формування такого фінансово-економічного механізму, який би забезпечував баланс між використанням ресурсу та його відтворенням.

Системний підхід передбачає розгляд рекреаційного лісокористування як багаторівневої соціо-еколого-економічної системи, у якій взаємодіють підсектори: природний (стан лісових екосистем, біорізноманіття, екосистемні послуги), господарський (оператори рекреаційних послуг, лісокористувачі, інвестори), інституційний (органи влади, нормативні акти, контроль і моніторинг) і соціальний (місцеві громади, рекреанти, громадські організації).

**Мета статті** — формування системного підходу до еколого-економічного розвитку фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У контексті активізації трансформаційних процесів у лісовій галузі України та реалізації реформи децентралізації владних повноважень постає необхідність оновлення підходів до відтворення лісових ресурсів і їх господарського використання. Особливої уваги це потребує в регіонах, де у віковій структурі лісів переважають молодняки та середньовікові насадження над стиглими й перестійними деревостанами, а також на малолісистих територіях. У цих умовах важливого значення набуває розвиток рекреаційного лісокористування як одного з ключових напрямів комерціалізації екосистемних послуг, що надаються лісовими біогеоценозами [1; 2; 5; 7–9].

І. Калущкий, М. Запоточний і Р. Остащук вказують, що використання земель лісового фонду в рекреаційних цілях потребує спеціального підходу до ведення лісового господарства, причому не лише на самих рекреаційних ділянках, а й на прилеглих територіях. Це пов'язано з необхідністю підтримки екологічного балансу,

збереження біорізноманіття та забезпечення комфортних умов для відпочивальників [10]. Автори підкреслюють, що ефективне рекреаційне лісокористування неможливе без стабільного фінансового забезпечення та продуманої системи управління. Це потребує залучення державних коштів, приватних інвестицій, а також розробки механізмів самоокупності, наприклад, через запровадження платних послуг або податкових пільг для інвесторів. Лише комплексний підхід дасть змогу поєднати рекреаційне використання лісів із їх довгостроковим збереженням.

Рекреаційне лісокористування є специфічною формою рекреаційної діяльності, що ґрунтується на використанні лісових біогеоценозів — ключових елементів стабільності еколого-економічних систем регіонального рівня. З огляду на екологічну роль лісів як генераторів екосистемних послуг, інтенсивність і масштаби їх рекреаційного використання повинні узгоджуватися з потенціалом самовідновлення природних систем. Це необхідно для забезпечення стійкого функціонування екосистем у коротко- та довгостроковій перспективі [11].

Отже, забезпечення ефективного розвитку рекреаційного лісокористування в умовах трансформації лісового сектору та децентралізації управління потребує впровадження системного підходу до формування фінансово-економічного механізму, який поєднує екологічні та економічні інтереси. Такий підхід має передбачати узгодження інтенсивності використання лісових ресурсів із їх природним відновним потенціалом, інтеграцію різних джерел фінансування (державних, приватних і місцевих), а також створення дієвих інструментів економічного стимулювання. Водночас важливо забезпечити комплексне управління як рекреаційними територіями, так і прилеглими екосистемами, що дасть змогу підтримувати екологічну рівновагу, зберігати біорізноманіття та підвищувати соціально-економічну ефективність використання лісових біогеоценозів у довгостроковій перспективі.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологічну основу дослідження фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування в контексті євроінтеграційних процесів становить системний підхід, що дає змогу розглядати його як цілісну структуру, у якій екологічні, економічні, інституційні та соціальні елементи перебувають у взаємозв'язку.

Реалізація системного підходу передбачала застосування комплексу взаємодоповнювальних методів: *аналіз нормативно-правових*

*документів* — для ідентифікації європейських стандартів та імплементаційних механізмів у сфері рекреаційного природокористування, що формують зовнішнє інституційне середовище функціонування механізму; *порівняльний аналіз* — для виявлення варіативності моделей залучення місцевих громад до розвитку екотуризму, що дало змогу визначити адаптаційні можливості фінансово-економічних інструментів у різних національних контекстах; *економічний аналіз* — для оцінювання соціально-економічних ефектів (зайнятості, доходи територіальних громад, розвиток інфраструктури) як цільових результатів дієвості фінансово-економічного механізму; *екологічний моніторинг* — для визначення допустимих меж рекреаційного навантаження та оцінювання екологічної стійкості лісових біогеоценозів як базису, що лімітує параметри функціонування механізму.

Комплексне застосування зазначених методів у межах системного підходу дало змогу обґрунтувати архітектуру фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування, зорієнтованого на досягнення Цілей сталого розвитку та соціально-економічного зростання регіонів в умовах євроінтеграції.

Матеріали дослідження: міжнародні правові документи у сфері збалансованого розвитку та національного природокористування; нормативно-правові акти України у сфері лісового господарства, охорони довкілля та рекреаційного використання природних ресурсів (зокрема Лісовий кодекс України, закони України “Про охорону навколишнього природного середовища”, “Про природно-заповідний фонд України”); державні та галузеві стратегії розвитку лісового господарства й рекреаційної діяльності; матеріали наукових публікацій, веб-порталів та інформаційних систем екологічного й економічного спрямування.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сучасний розвиток рекреаційного лісокористування потребує комплексного підходу, що інтегрує економічні, соціальні та екологічні аспекти. Традиційні моделі управління не завжди забезпечують ефективне використання лісових ресурсів, що зумовлює необхідність застосування системного підходу, який враховує взаємозв'язки між фінансовими потоками, природоохоронними заходами й потребами населення у відпочинку та оздоровленні.

Фінансово-економічний механізм рекреаційного лісокористування потребує науково обґрунтованих інструментів стимулювання інвестицій у збереження та розвиток рекреаційної

інфраструктури. Системний підхід дає змогу інтегрувати економічну оцінку рекреаційного потенціалу, прогнозування антропогенного навантаження, застосування “зелених” технологій і механізмів державно-приватного партнерства для забезпечення стійкого функціонування територій.

Упровадження такого підходу підвищує ефективність управлінських рішень, забезпечує баланс між економічними вигодами, соціальною доступністю послуг та екологічною безпекою, а також створює передумови для довгострокового сталого розвитку рекреаційних лісових територій.

Блок-схема ілюструє системний підхід до розвитку фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування, що передбачає комплексну інтеграцію економічних, соціальних та екологічних складових у процесі управління рекреаційними лісовими територіями (рис. 1).

На першому рівні представлено вхідні ресурси, які охоплюють лісові рекреаційні території, природні та екологічні ресурси, інвестиційні та фінансові засоби, а також соціальні та демографічні характеристики населення. Ці ресурси формують основу для планування та розвитку рекреаційної діяльності.

На другому рівні виокремлено основні компоненти системного підходу:

- *економічний* — планування фінансових потоків, механізми державного та приватного партнерства, оцінка доходів від рекреаційної діяльності;
- *екологічний* — моніторинг стану екосистем, відновлення та збереження природних ресурсів, упровадження “зелених” технологій;
- *соціальний* — забезпечення доступності рекреаційних послуг, підвищення якості відпочинку та оздоровлення, розвиток екологічної освіти та свідомості населення.

На третьому рівні подано інструменти реалізації фінансово-економічного механізму, серед яких — економічна оцінка рекреаційного потенціалу територій, застосування податкових і фінансових стимулів (“користувач інвестує”), збори за відвідування, а також реінвестування доходів у природоохоронні заходи та розвиток інфраструктури.

На вихідному рівні блок-схема демонструє очікувані результати впровадження системного підходу: раціональне та стаке використання лісових рекреаційних ресурсів, підвищення фінансової самодостатності територій, збереження та відновлення екосистем, а також досягнення соціально-економічної ефективності рекреаційної діяльності.

Отже, схема відображає логіку взаємодії ресурсів, компонентів та інструментів у межах

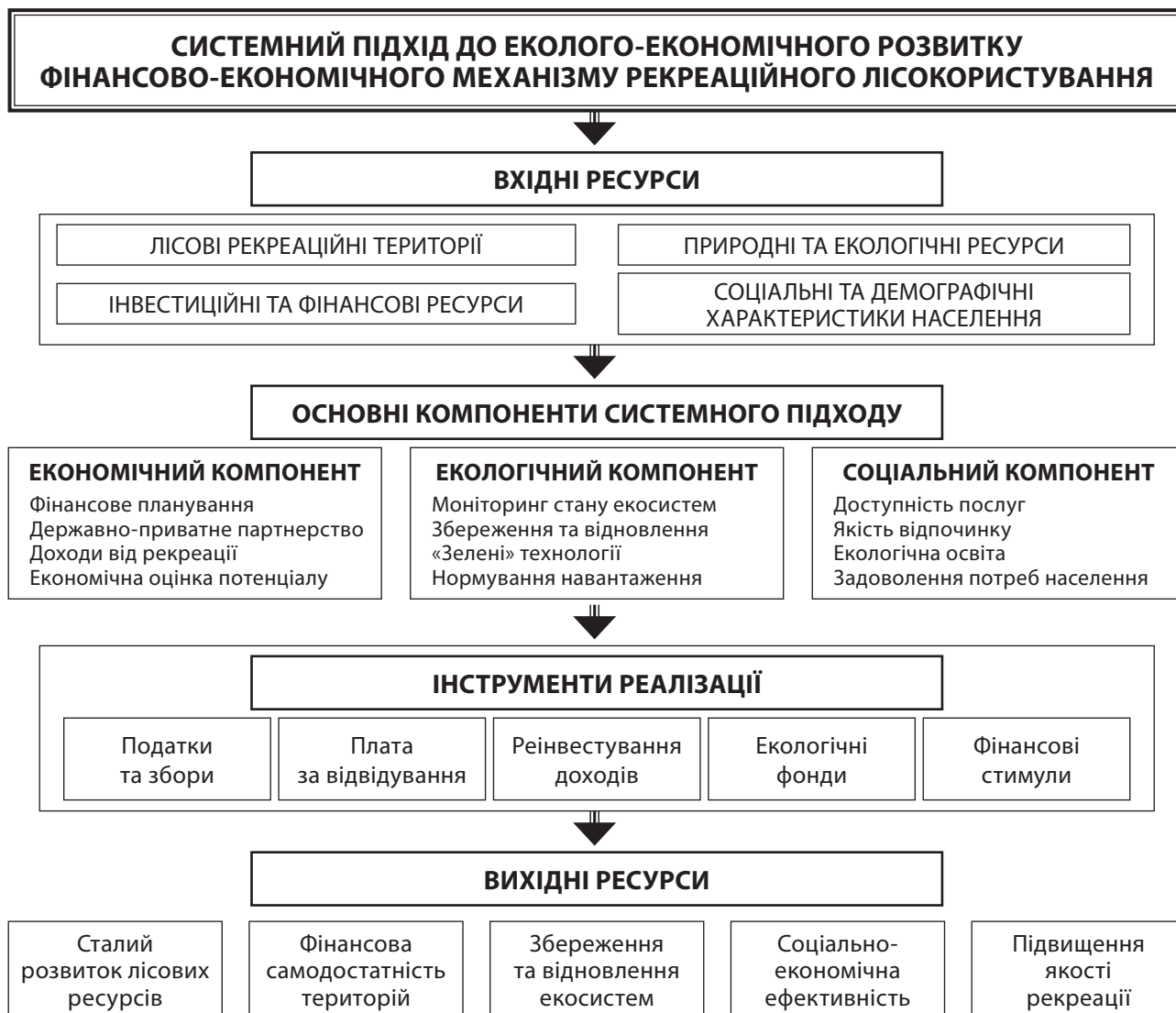


**Рис. 1.** Системний підхід до еколого-економічного розвитку фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування

Джерело: розроблено авторами.

фінансово-економічного механізму, забезпечуючи цілісне бачення процесу управління рекреаційним лісокористуванням і сприяючи науково обґрунтованому ухваленню управлінських рішень.

Пандемія COVID-19, геополітична нестабільність та економічний спад уповільнили глобальну динаміку туристичних потоків. Ці чинники завдали значної шкоди туристично-рекреаційному сектору в розвинених країнах, зокрема європейських, негативно вплинувши на його світовий потенціал.

Проте саме індустрія подорожей як комплексна економічна діяльність має ключове значення для сталого розвитку регіонів. У зв'язку з цим набуває актуальності наукове обґрун-

тування факторів відновлення національного туристично-рекреаційного потенціалу, зокрема у сфері лісокористування. Таке дослідження є необхідним для формування конкретних напрямів стабілізації та розвитку цієї галузі в Україні в посткризовий період.

Відновлення сфери рекреаційного лісокористування доцільно здійснювати в парадигмі сталого розвитку. Це передбачає свідомо підтримуваний прогресивний рух, що ґрунтується на посиленні ролі ефективного управління, розвитку самоврядування та принципів самоорганізації.

У цьому процесі функції держави мають трансформуватися, а її регуляторна роль — активізуватися через формування чітких ці-

# СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОГО МЕХАНІЗМУ РЕКРЕАЦІЙНОГО ЛІСОКОРИСТУВАННЯ

льових параметрів розвитку та налагодження механізмів контролю за їх дотриманням. Основою переходу до сталого стану галузі має стати системна й керована трансформація її економічних, соціальних та управлінських інститутів, що забезпечить її вихід на якісно новий рівень після подолання кризових явищ.

Сформована блок-схема системного підходу до еколого-економічного розвитку фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування є комплексною візуально-концептуальною моделлю, яка не лише струк-

турує його ключові компоненти, а й наочно відображає принципи системності. Її основна цінність полягає в інтеграції трьох взаємопов'язаних підсистем — екологічної, економічної та соціально-управлінської — у єдину функціональну систему, у якій фінансово-економічний механізм виконує роль центрального елемента, що забезпечує циркуляцію ресурсів (рис. 2).

Запропонована модель демонструє, що сталість розвитку досягається не через окремі заходи, а завдяки синергії їх взаємодії. У межах цієї системи джерела фінансування, інструмен-

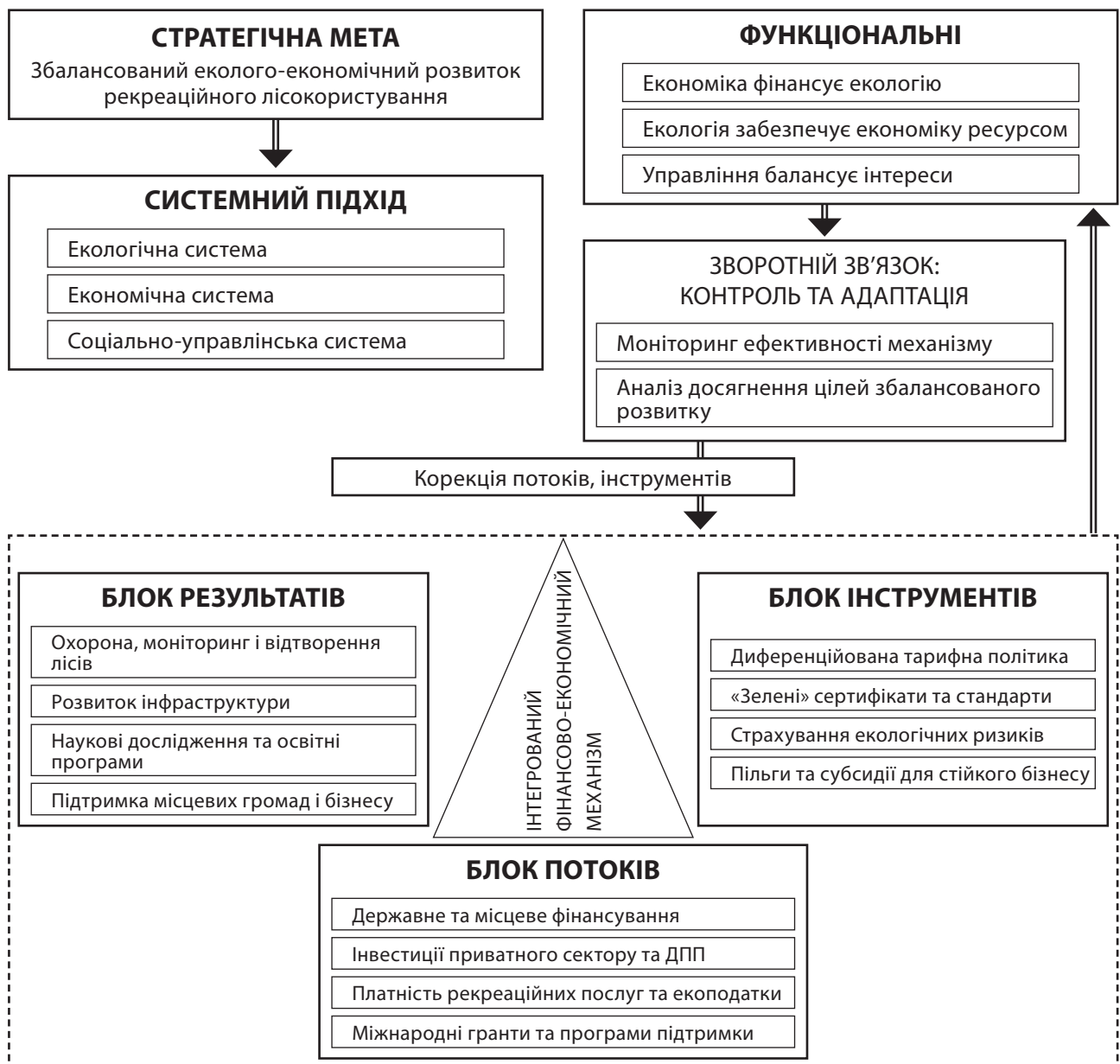


**Рис. 2.** Блок-схема системного підходу до еколого-економічного розвитку фінансово-економічного механізму рекреаційного лісокористування

Джерело: розроблено авторами.

ти реалізації та напрями використання коштів формують замкнений і керований контур, що забезпечує збалансоване поєднання економічних інтересів, соціальних потреб та екологічних обмежень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості застосування моделі на рівні територіальних громад: від планування рекреаційного навантаження до формування місцевих бюджетних програм відновлення та співфінансування інфраструктурних проєктів.

### ВИСНОВКИ

Отже, у перспективі розвиток рекреаційного лісокористування має ґрунтуватися на впровадженні системного підходу до формування фінансово-економічного механізму, який забезпечує узгодження екологічних обмежень та економічних інтересів. Пріоритетом має стати встановлення науково обґрунтованих лімітів рекреаційного навантаження, інтеграція інструментів економічного стимулювання та формування стабільних джерел фінансування для підтримки відновлювальної здатності лісових екосистем. Це дасть змогу мінімізувати ризики деградації природних ресурсів і забезпечити довгострокову екологічну рівновагу.

Важливим напрямом подальшого розвитку є посилення ролі територіальних громад у процесах управління рекреаційними лісовими ресурсами, що відповідає умовам децентралізації. Залучення місцевих бюджетів, приватного капіталу та механізмів державно-приватного партнерства сприятиме підвищенню фінансової самодостатності рекреаційних територій. Водночас необхідним є вдосконалення інституційного середовища, зокрема нормативно-правового забезпечення, систем моніторингу та контролю, а також упровадження прозорих механізмів реінвестування доходів у природоохоронні заходи.

У довгостроковій перспективі ефективність рекреаційного лісокористування визначатиметься здатністю поєднати економічну результативність, соціальну доступність та екологічну безпеку. Це передбачає розвиток інноваційних підходів до управління, використання “зелених” технологій, цифрових інструментів моніторингу та оцінювання екосистемних послуг. Реалізація таких підходів сприятиме формуванню конкурентоспроможної, екологічно орієнтованої моделі розвитку лісового сектору, здатної забезпечити стале зростання та підвищення якості життя населення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Мединська, Н. В., Близнюк, В. В., Гюлтекін, О. О., Подлегаєв, В. П., & Казюк, Т. Ю. (2024). Еколого-економічні аспекти рекреаційного лісокористування: оцінка ефективності та фінансова стійкість. *Ефективна економіка*, 6. doi: 10.32702/2307-2105.2024.6.14
2. Дубовіч, І. А., Фомічева, Т. Є., & Василишин, Х. Р. (2021). Сучасні проблеми та перспективи розвитку екологічного туризму на території лісового фонду Українських Карпат. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, 44, 75–80. doi: 10.32999/ksu2307-8030/2021-44-11
3. Марків, П. Д. (2009). Оцінка рекреаційної стійкості лісових насаджень. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 116, 211–213. Взято з <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/17/116-pdf>
4. Пантелеймоненко, А. О., & Гончаренко, В. В. (2019). Кооперативи у сфері рекреаційних послуг: досвід США. *Центральноукраїнський науковий вісник. Економічні науки*, 3(36), 36–44. doi: 10.32515/2663-1636.2019.3(36).36-44
5. Прокопович, О. Р. (2012). Європейський досвід впровадження еколого-економічних проєктів у діяльність лісових кластерів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(15), 96–100. Взято з [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22\\_15/96\\_Pro.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_15/96_Pro.pdf)
6. Дейнека, А., & Копач, М. (2001). Проблеми і перспективи рекреаційного використання лісів Львівської області. *Регіональна економіка*, 2, 171–175.
7. Дребот, О. І., & Клим, Н. М. (2025). Пріоритетні напрями удосконалення фінансово-економічного механізму збалансованого розвитку рекреаційного лісокористування. *Агросвіт*, 22, 60–68. doi: 10.32702/2306-6792.2025.22.60
8. Дребот, О. І., & Клим, Н. М. (2025). Основи рекреаційного лісокористування із врахування економічних механізмів. *Ефективна економіка*, 8. doi: 10.32702/2307-2105.2025.8.12
9. Шершун, М. Х., Микитин, І. С., & Клим, Н. М. (2024). Управління національними природними парками: досвід Франції для України. *Збалансоване природокористування*, 4, 45–52. doi: 10.33730/2310-4678.4.2024.319398
10. Калущький, І. Ф., Запоточний, М. М., & Осташук, Р. В. (2011). Проблеми збереження гірських лісів в умовах інтенсивного розвитку рекреації на Прикарпатті. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 21(13), 8–17.
11. Гюлтекін, О. (2022). Еколого-економічне забезпечення рекреаційного лісокористування в умовах поглиблення децентралізаційних процесів. *Економіка та суспільство*, 44. doi: 10.32782/2524-0072/2022-44-66

**SYSTEMIC APPROACH TO THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC  
DEVELOPMENT OF THE FINANCIAL AND ECONOMIC MECHANISM  
OF RECREATIONAL FOREST USE****Drebot O.**

Doctor of Economic Sciences, Professor, Academician of NAAS  
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)  
e-mail: drebot\_oksana@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>

**Klym N.**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor  
Ukrainian National Forestry University (Lviv, Ukraine)  
e-mail: klym.nadya@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4949-6644>

*The article explores the theoretical and methodological principles of the formation of a financial and economic mechanism for recreational forest use in the context of forest sector transformation and decentralization of management. Key contradictions between the intensity of recreational load and the ability of forest ecosystems to self-recovery are identified, which necessitates the establishment of environmentally sound limits on resource use. The feasibility of using a systemic approach to considering recreational forest use as a multi-level socio-ecological and economic system that combines natural, economic, institutional, and social subsectors is substantiated. Approaches to building a financial and economic mechanism are improved through the integration of economic incentive instruments, environmental monitoring, and public-private partnership mechanisms. A conceptual model of systemic management of recreational forest use is proposed, which involves the interaction of resources, instruments, and results, taking into account the principles of sustainable development. Directions for increasing the efficiency of forest resource use, ensuring financial self-sufficiency of territories, and preserving the ecosystem functions of forests in the long term are identified.*

**Keywords:** ecological and economic mechanism, forest sector, recreation, balanced development, forest ecosystems, monitoring, tools.

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**ДРЕБОТ Оксана Іванівна** — доктор економічних наук, професор, академік НААН, директор, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: drebot\_oksana@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>).

**КЛИМ Надія Михайлівна** — кандидат економічних наук, доцент, Національний лісотехнічний університет України (вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, Україна, 79057; e-mail: klym.nadya@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4949-6644>).

## РОЗВИТОК РЕКРЕАЦІЙНОГО ЛІСОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ: ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНІ ІНСТРУМЕНТИ ТА ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНІ ОРІЄНТИРИ

**Т. Є. Калина**

доктор економічних наук, професор

ПЗВО “Міжнародний класичний університет імені Пилипа Орлика” (м. Миколаїв, Україна)

e-mail: [tkalinka.zin@gmail.com](mailto:tkalinka.zin@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2705-9382>

**Р. М. Ступень**

доктор економічних наук, професор

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій

ім. С. З. Гжицького (м. Львів, Україна)

e-mail: [romomas@ukr.net](mailto:romomas@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4951-2838>

**Т. Ю. Арзуманян**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Одеська державна академія будівництва та архітектури (м. Одеса, Україна)

e-mail: [tatianaarz@ukr.net](mailto:tatianaarz@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1470-1310>

У статті досліджено теоретичні та практичні аспекти розвитку рекреаційного лісокористування в Україні в контексті фінансово-економічного забезпечення та євроінтеграційних орієнтирів. Обґрунтовано, що лісові ресурси України є важливою складовою природно-ресурсного потенціалу держави та виконують економічні, екологічні й соціальні функції, зокрема забезпечують умови для рекреаційної діяльності населення. Визначено сутність поняття “рекреаційне лісокористування” та його роль у забезпеченні відпочинку, оздоровлення населення й розвитку туристично-рекреаційної діяльності. Проаналізовано сучасний стан лісових ресурсів України, їх територіальне розміщення та тенденції відтворення лісів. Установлено, що розвиток рекреаційного лісокористування сприяє диверсифікації економічної діяльності лісового господарства, формуванню нових видів економічної активності, розвитку туристично-рекреаційної інфраструктури та підвищенню інвестиційної привабливості територій. Обґрунтовано необхідність застосування комплексу фінансово-економічних інструментів, зокрема бюджетного фінансування, інвестиційних механізмів, державно-приватного партнерства, податкових стимулів і платежів за використання рекреаційних ресурсів лісів. Досліджено європейський досвід розвитку рекреаційного лісокористування та визначено перспективи адаптації кращих практик країн Європейського Союзу до умов України. Визначено пріоритетні напрями розвитку рекреаційного лісокористування в умовах євроінтеграційних процесів і сталого управління лісовими ресурсами.

**Ключові слова:** туризм, лісові ресурси, податки, платежі, рекреаційна інфраструктура, сталий розвиток, євроінтеграція, екосистемні послуги.

### ВСТУП

Сучасні процеси глобалізації, трансформації економічної системи та воєнні дії на території нашої країни зумовлюють необхідність переосмислення підходів до використання природних ресурсів і формування ефективних механізмів їх раціонального управління. Особливого значення в таких умовах набувають лісові ресурси, які виконують важливі екологічні, соціальні та економічні функції. Одним із перспективних напрямів їх використання є рекреаційне лісокористування, що сприяє розвитку туризму, підвищенню якості життя населення, формуванню сприятливого природного середовища та забезпеченню сталого розвитку територій.

Ліси України є важливим елементом природно-ресурсного потенціалу держави, виконуючи водоохоронні, кліматорегулювальні, санітарно-гігієнічні та рекреаційні функції. За сучасних умов зростає потреба суспільства у використанні лісів як простору для відпочинку, оздоровлення та відновлення фізичних і психологічних ресурсів людини, а рекреаційне лісокористування створює можливості для розвитку туристично-рекреаційної діяльності, диверсифікації економічної діяльності лісового господарства та залучення додаткових фінансових ресурсів для розвитку регіонів. Водночас посилення антропогенного навантаження на лісові екосистеми, обмеженість фінансових ре-

сурсів, недостатній рівень розвитку інфраструктури та недосконалість економічних механізмів регулювання використання лісових ресурсів стримують ефективний розвиток рекреаційного лісокористування. В умовах євроінтеграційних процесів особливої актуальності набуває адаптація національної системи управління лісовими ресурсами до європейських стандартів сталого лісокористування, що передбачає впровадження сучасних фінансово-економічних інструментів стимулювання рекреаційної діяльності, удосконалення механізмів інвестування та формування ефективної системи економічного регулювання.

З огляду на це важливим науковим і практичним завданням є дослідження фінансово-економічних інструментів розвитку рекреаційного лісокористування та визначення євроінтеграційних орієнтирів його подальшого розвитку в Україні. Це зумовлює необхідність формування ефективного фінансово-економічного механізму використання рекреаційного потенціалу лісів, який сприятиме забезпеченню збалансованого використання лісових ресурсів, розвитку рекреаційної інфраструктури та підвищенню конкурентоспроможності лісового господарства України в умовах європейської інтеграції.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Варто зазначити, що нині низка наукових досліджень присвячена проблемам розвитку лісового господарства, раціонального використання лісових ресурсів і формування ефективних механізмів управління лісокористуванням. Теоретичні та практичні аспекти функціонування лісового господарства, розвитку рекреаційного використання лісів, а також удосконалення економічних механізмів управління лісовими ресурсами знайшли відображення у працях багатьох вітчизняних учених, зокрема С. А. Генсірука, О. І. Дребот, І. Ф. Калущько, Я. В. Ковалю, Є. В. Мішеніна, І. П. Соловія, В. А. Голяна, І. М. Лицур, М. Х. Шершуна та ін. У їхніх дослідженнях значний акцент робиться на питаннях сталого управління лісовими ресурсами, економічного регулювання лісокористування, розвитку рекреаційної діяльності в лісах і формування ефективних фінансово-економічних інструментів використання природно-ресурсного потенціалу. Зокрема, у наукових працях підкреслюється важливість розвитку рекреаційного лісокористування як одного з перспективних напрямів диверсифікації діяльності лісового господарства, що сприяє підвищенню ефективності використання лісових ресурсів, розвитку туристично-рекреаційної

інфраструктури та забезпеченню сталого розвитку територій. Особлива увага приділена питанням економічного стимулювання рекреаційної діяльності, залучення інвестицій у розвиток лісової інфраструктури, а також формуванню системи платежів за використання рекреаційних ресурсів лісів.

Водночас, незважаючи на вагомий науковий доробок у сфері дослідження лісових ресурсів та їх використання, комплексні дослідження щодо формування ефективних фінансово-економічних інструментів розвитку рекреаційного лісокористування в умовах євроінтеграційних процесів залишаються недостатньо висвітленими. Дискусійним також є широке коло теоретичних, методологічних і прикладних питань, що стосуються вдосконалення економічних механізмів стимулювання рекреаційного використання лісів, адаптації національної системи управління лісовими ресурсами до європейських стандартів сталого лісокористування й забезпечення збалансованого поєднання економічних, екологічних і соціальних інтересів у сфері використання лісових ресурсів. Тому виникає потреба в поглибленні наукових досліджень щодо визначення пріоритетних напрямів розвитку рекреаційного лісокористування та формування ефективних фінансово-економічних інструментів його стимулювання в контексті євроінтеграційних орієнтирів.

**Метою дослідження** є обґрунтування теоретичних засад, визначення пріоритетних напрямів розвитку вітчизняного рекреаційного лісокористування та дослідження фінансово-економічних інструментів його стимулювання в контексті євроінтеграційних процесів.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Теоретико-методологічною основою дослідження є наукові методи пізнання, що ґрунтуються на основних положеннях економічної теорії, економіки природокористування та лісового господарства, концепції сталого розвитку, а також наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених із питань раціонального використання лісових ресурсів, розвитку рекреаційного лісокористування, економічного регулювання природокористування та формування ефективних фінансово-економічних механізмів управління природно-ресурсним потенціалом.

Під час дослідження використано загальнонаукові й спеціальні методи наукового пізнання: *метод логічного узагальнення та наукової абстракції* — для уточнення сутності й понятійного апарату рекреаційного лісокористування; *методи системного аналізу й синтезу, індукції та дедукції* — для визначення особли-

востей формування та розвитку рекреаційного використання лісових ресурсів; *метод аналогій і порівнянь* — для дослідження європейського досвіду організації рекреаційного лісокористування та можливостей його адаптації в Україні; *метод комплексного аналізу* — для оцінки сучасного стану та тенденцій розвитку рекреаційного лісокористування; *структурно-функціональний та економічний аналіз* — для обґрунтування фінансово-економічних інструментів стимулювання розвитку рекреаційного використання лісів. Використання зазначених методів дало змогу забезпечити досягнення мети дослідження та реалізацію поставлених завдань.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Загальна площа лісового фонду України становить близько 10,4 млн га, з яких 9,6 млн га вкриті лісовою рослинністю, а рівень лісистості території держави — майже 15,9% [1]. Порівняно з багатьма європейськими країнами такий показник залишається відносно невисоким, що зумовлює необхідність збереження наявних лісових екосистем і розширення площ лісових насаджень. Природно-кліматичні умови для лісовирощування на території України є досить неоднорідними, що є основним чинником нерівномірності розміщення лісів. Зокрема, найбільші лісові масиви зосереджені в природних зонах Полісся та Українських Карпат, де сформувалися найбільш сприятливі умови для розвитку лісових екосистем, натомість у лісостепових і степових регіонах країни рівень лісистості

значно нижчий, що потребує реалізації комплексних заходів щодо підвищення лісистості територій і раціонального використання лісових ресурсів (рис. 1).

Останніми роками приділяється значна увага відтворенню та розширенню лісових ресурсів. Зокрема, у 2024 році державними лісогосподарськими підприємствами, що перебувають у сфері управління Державного агентства лісових ресурсів України, здійснено комплекс заходів із відтворення лісових ресурсів на загальній площі 35,2 тис. га [2]. Площа лісовідновлення становила 29 тис. га, тоді як лісорозведення на землях, наданих у постійне користування (створення нових лісових насаджень), охопило 6,2 тис. га (рис. 2). У 2024 році в лісовій галузі України спостерігалися позитивні тенденції як у сфері відтворення лісових ресурсів, так і в економічних результатах діяльності. Важливу роль у процесах відновлення лісових екосистем відіграє природне поновлення, яке здійснювалося на площі 7,3 тис. га, що свідчить про наявність сприятливих природних умов для самовідновлення лісових насаджень і підкреслює значення природоорієнтованих підходів у сучасному лісівництві.

Водночас лісова галузь України у 2024 році досягла вагомих економічних результатів, зокрема чистий дохід від реалізації продукції становив 23,7 млрд грн, що є одним із найвищих показників за останні роки. Загалом на внутрішній ринок було поставлено близько 12,7 млн м<sup>3</sup> лісоматеріалів на суму майже 23 млрд грн, що на 0,8 млн м<sup>3</sup> і на 2,5 млрд грн перевищує показники 2023 року. При цьому се-

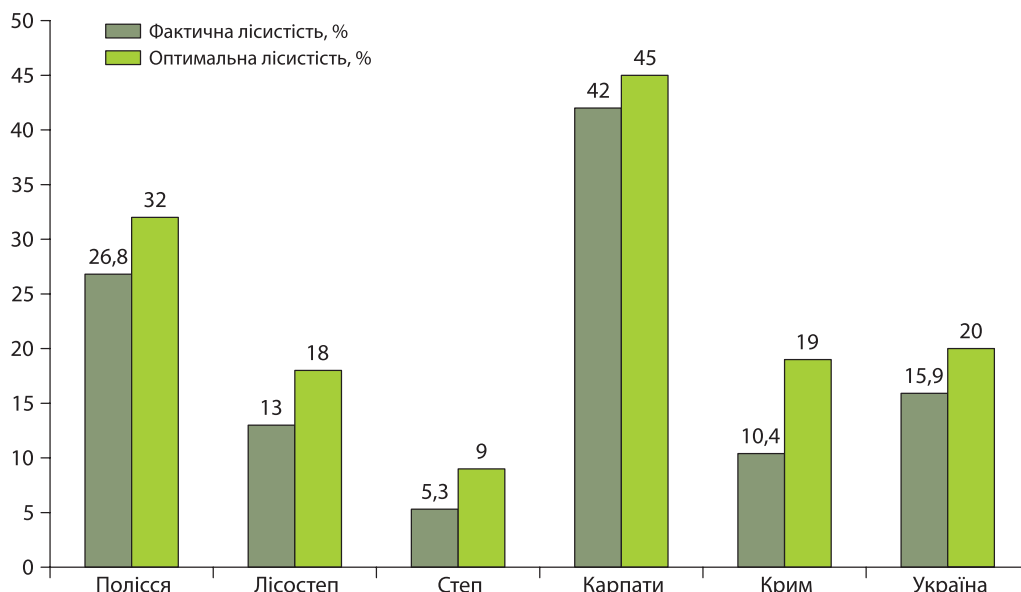


Рис. 1. Лісистість території України за природними зонами

Джерело: побудовано авторами за даними [2].

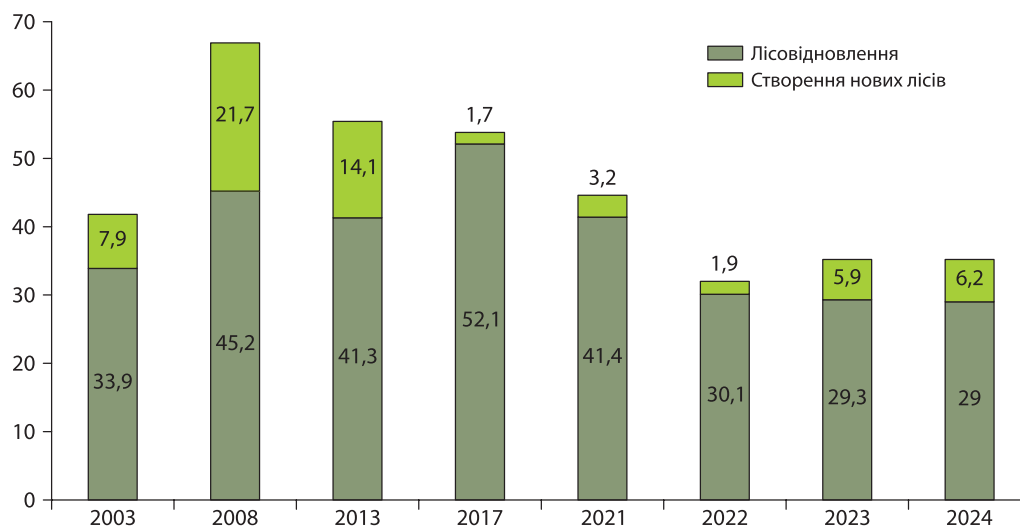
РОЗВИТОК РЕКРЕАЦІЙНОГО ЛІСОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ:  
ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНІ ІНСТРУМЕНТИ ТА ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНІ ОРІЄНТИРИ

**Рис. 2.** Обсяги створення лісів підприємствами Держлісагентства, тис. га

Джерело: побудовано авторами за даними [2].

редня вартість одного кубічного метра деревини зросла приблизно на 5% і досягла 1 810 грн, що свідчить про поступове зростання економічної ефективності використання лісових ресурсів.

Значущим кроком у напрямі збереження та розширення лісових ресурсів держави стало прийняття Указу Президента України від 7 червня 2021 року № 228/2021 “Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів”, яким започатковано загальнонаціональну екологічну ініціативу “Масштабне заліснення України”, основною метою якої є збільшення площі лісових насаджень, підвищення рівня лісистості території країни, а також посилення екологічної стійкості природних екосистем. Згідно з офіційними даними платформи “Зелена країна”, з початку реалізації програми її учасниками було висаджено 703,3 млн дерев, що становить 70,3% від запланованих показників, а динаміка реалізації ініціативи свідчить про поступове нарощування темпів лісовідновлювальних робіт: у 2021 році висаджено 59,7 млн дерев, у 2022 році — 184,6 млн, у 2023 році — 220,7 млн, а у 2024 році — 238,3 млн дерев [2]. Реалізація зазначених заходів сприяє не лише збільшенню площ лісових насаджень, а й формує передумови для підвищення екологічної безпеки, збереження біорізноманіття та розвитку багатофункціонального використання лісових ресурсів, зокрема рекреаційного лісокористування.

Тож у зв’язку зі зростанням ролі лісів як багатофункціонального природного ресурсу пріоритетного значення набуває розвиток рекреаційного лісокористування. Так, термін “рекреаційне лісокористування” набув поширення в науковій літературі у 80-х роках XX століття

та використовується для характеристики використання лісових територій із метою відпочинку, оздоровлення та туристичної діяльності. У загальному розумінні рекреаційне лісокористування трактується як сукупність явищ і процесів, що виникають у зв’язку з використанням лісових територій для організації відпочинку, туризму та інших форм рекреаційної діяльності населення [3]. Доцільність активізації розвитку рекреаційного лісокористування зумовлена тим, що лісові ресурси поряд із традиційними економічними функціями виконують істотну соціальну та оздоровчу роль. Як зазначають А. Дейнека та М. Копач, лісові екосистеми мають значний рекреаційний потенціал, який формується не лише завдяки лісовим насадженням, а й завдяки наявності різноманітних супутніх ресурсів. До лісових рекреаційних ресурсів, окрім деревної рослинності, належать грибні і ягідні угіддя, мисливські ресурси, а також інші природні компоненти, що використовуються для організації дозвілля та відпочинку населення. Окрему групу становлять території природно-заповідного фонду, де допускається здійснення рекреаційної діяльності за умов дотримання природоохоронних вимог [4].

Провідну роль у формуванні рекреаційного потенціалу відіграють безпосередньо лісові масиви, які створюють сприятливе природне середовище для відновлення фізичних і психологічних ресурсів людини, позитивно впливають на стан здоров’я населення та сприяють поліпшенню екологічної ситуації. У процесі розвитку рекреаційної діяльності ліси, поряд зі збереженням функцій продуцента деревної сировини та інших лісових ресурсів, набувають додаткових властивостей як продуценти

рекреаційних послуг. У такому контексті лісові ресурси поступово трансформуються у важливу соціально-економічну категорію, пов'язану зі створенням рекреаційних благ і формуванням нових можливостей для розвитку територій [5].

А. Карпук та І. Лицур розглядають рекреаційне лісокористування як систему заходів щодо використання лісових ресурсів у вільний від роботи час із метою відновлення фізичних, духовних і психоемоційних сил людини, зміцнення здоров'я та працездатності населення, створення умов для активного відпочинку та всебічного розвитку особистості [6]. При цьому розвиток рекреаційної діяльності в лісах сприяє формуванню додаткового суспільного продукту, підвищенню добробуту населення та збільшенню тривалості життя. Водночас, як зазначають М. Питуляк і М. Питуляк, рекреаційне використання лісових ресурсів має важливе значення для місцевих громад, оскільки в сучасних соціально-економічних умовах населення активно використовує лісові території для різних видів рекреаційної діяльності, зокрема відпочинку, оздоровлення, збору грибів, ягід та інших природних ресурсів [7]. За твердженням І. Калущького, М. Запоточного та Р. Осташука, використання земель лісового фонду з рекреаційною метою потребує застосування спеціалізованих підходів до ведення лісового господарства як безпосередньо на цих територіях, так і на прилеглих лісових насадженнях. Така форма господарювання зумовлює необхідність значних фінансових витрат, пов'язаних не лише зі створенням та облаштуванням рекреаційних об'єктів, а й із забезпеченням їх подальшого функціонування й належного утримання [8]. Проте зростання інтенсивності рекреаційного використання лісів нерідко супроводжується підвищенням антропогенного навантаження на лісові екосистеми. Особливо це характерно для приміських лісових масивів, лісопарків і дендропарків, де значна концентрація відвідувачів може призводити до погіршення екологічного стану лісових насаджень, порушення природних екосистем і зниження їхньої рекреаційної цінності.

З урахуванням вищезазначеного рекреаційне лісокористування доцільно визначати як комплексний напрям використання лісових ресурсів, що передбачає організацію та здійснення рекреаційної, оздоровчої й туристичної діяльності на лісових територіях із метою відновлення фізичних і духовних сил людини, забезпечення соціальних потреб населення та отримання соціально-економічних й екологічних ефектів за умов раціонального та сталого використання лісових екосистем.

Пріоритетною складовою дослідження є визначення ролі рекреаційного лісокористування в соціально-економічному розвитку територій, оскільки нині рекреаційне використання лісових ресурсів розглядається не лише як форма організації відпочинку населення, а й як один із перспективних напрямів диверсифікації економічної діяльності лісового господарства та розвитку регіональної економіки [9]. Рекреаційне лісокористування сприяє формуванню нових видів економічної активності, розвитку туристично-рекреаційної інфраструктури, підвищенню інвестиційної привабливості територій та створенню додаткових робочих місць. Вагоме значення розвиток рекреаційного лісокористування має для сільських і периферійних територій, де лісові ресурси є цінним чинником економічної активізації та підвищення рівня зайнятості населення, а використання лісових територій для рекреаційних потреб забезпечує розвиток малого й середнього підприємництва, зокрема у сфері зеленого туризму, екологічного туризму, організації активного відпочинку, що забезпечує додаткові джерела доходів для місцевих громад. Крім економічних аспектів, рекреаційне лісокористування має вагоме соціальне й екологічне значення, оскільки створює сприятливі умови для відновлення фізичного та психологічного здоров'я населення, підвищення рівня екологічної культури суспільства й формування відповідального ставлення до природних ресурсів. Разом із тим раціональна організація рекреаційної діяльності в лісах стимулює збереження біорізноманіття, підтримання екологічної рівноваги та підвищення стійкості природних екосистем.

У контексті євроінтеграційних процесів значення рекреаційного лісокористування додатково зростає, оскільки європейська практика управління лісовими ресурсами передбачає багатофункціональне використання лісів, у якому поряд з економічними та екологічними функціями визначальне місце посідає рекреаційна складова, що створює передумови для впровадження сучасних фінансово-економічних інструментів стимулювання рекреаційної діяльності, розвитку інфраструктури відпочинку в лісах і підвищення ефективності використання лісового потенціалу України. Тож рекреаційне лісокористування є стратегічним інструментом комплексного розвитку територій, що поєднує економічні, соціальні й екологічні ефекти та сприяє реалізації принципів сталого природокористування в умовах сучасних трансформаційних процесів [10].

Оскільки рекреаційне лісокористування є важливою складовою сталого управління лісовими ресурсами та поєднує екологічні, соціальні

РОЗВИТОК РЕКРЕАЦІЙНОГО ЛІСОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ:  
ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНІ ІНСТРУМЕНТИ ТА ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНІ ОРІЄНТИРИ

й економічні функції лісів, то задля забезпечення ефективного розвитку необхідним є застосування комплексу фінансово-економічних інструментів, які стимулюють раціональне використання лісових територій, підвищують інвестиційну привабливість рекреаційної інфраструктури та забезпечують баланс між господарською діяльністю й збереженням природного середовища (рис. 3).

Одним із ключових інструментів розвитку рекреаційного лісокористування є бюджетне фінансування, що здійснюється за кошти державного та місцевих бюджетів. Такі кошти спрямовуються на створення та утримання рекреаційної інфраструктури в лісах, облаштування туристичних маршрутів, зон відпочинку, екологічних стежок, а також на проведення природоохоронних заходів. Для України фундаментальну роль відіграють цільові державні програми розвитку лісового господарства, які можуть передбачати фінансування проєктів рекреаційного освоєння лісів. До того ж цінним економічним механізмом є платежі за рекреаційне використання лісових ресурсів, які можуть охоплювати плату за відвідування рекреаційних зон, користування туристичною інфраструктурою, організацію масових заходів, а також орендну плату за використання лісових ділянок для рекреаційної діяльності. Такі платежі виконують подвійне завдання: формують фінансову базу для утримання та розвитку рекреаційних об'єктів і водночас сти-

мулюють раціональне використання природних ресурсів.

Вагомим інструментом розвитку рекреаційного лісокористування є інвестиційне забезпечення розвитку рекреаційної інфраструктури, що може здійснюватися як за рахунок державних інвестицій, так і шляхом залучення приватного капіталу. Значного поширення набувають механізми державно-приватного партнерства, які дають змогу поєднувати ресурси держави й бізнесу для створення туристично-рекреаційних комплексів, еколого-освітніх центрів, кемпінгів, глемпінгів та інших об'єктів відпочинку в лісових масивах.

Суттєву роль у розвитку рекреаційного лісокористування відіграють податкові стимули, до яких можуть належати податкові пільги для підприємств, що інвестують у розвиток рекреаційної інфраструктури в лісах, зниження ставок орендної плати на початкових етапах реалізації проєктів або податкові кредити на впровадження екологічно безпечних технологій. Такі заходи сприяють активізації інвестиційної діяльності та підвищенню економічної ефективності рекреаційних проєктів.

Необхідним інструментом також є екологічні фонди та грантове фінансування, що формуються за рахунок міжнародних програм, донорських організацій та екологічних фондів, а отримані кошти можуть використовуватися для реалізації проєктів сталого розвитку лісових територій, розвитку екотуризму, збереження



**Рис. 3.** Фінансово-економічні інструменти розвитку рекреаційного лісокористування

Джерело: розроблено авторами.

біорізноманіття та підвищення екологічної обізнаності населення.

Окреме місце в системі розвитку рекреаційного лісокористування посідають економічні механізми стимулювання сталого природокористування, зокрема система компенсацій і платежів за екосистемні послуги лісів. Ліси виконують визначальні рекреаційні, клімато-регулювальні та оздоровчі функції, тому механізми оплати за екосистемні послуги можуть стати додатковим джерелом фінансування для підтримки рекреаційного потенціалу лісових територій. Отже, розвиток рекреаційного лісокористування потребує комплексного застосування фінансово-економічних інструментів, які забезпечують залучення інвестицій, ефективне управління ресурсами та збереження екологічної цінності лісових екосистем. Поєднання бюджетного фінансування, платного використання ресурсів, інвестиційних механізмів, податкових стимулів і міжнародної фінансової підтримки створює необхідні передумови для формування конкурентоспроможного та екологічно збалансованого сектору рекреаційного лісокористування.

Розвиток рекреаційного лісокористування є впливовим напрямом сталого управління лісовими ресурсами в країнах Європейського Союзу. Європейська практика демонструє ефективне поєднання економічного використання лісів зі збереженням екологічної цінності та соціальної функції. У контексті євроінтеграції України вагомою є адаптація кращих європейських підходів до управління лісами, розвитку рекреаційної інфраструктури та впровадження сучасних фінансово-економічних механізмів підтримки рекреаційного лісокористування. Однією з ключових особливостей європейської моделі є орієнтація на принципи сталого розвитку, а в багатьох країнах ЄС рекреаційна функція лісів розглядається як важливий елемент державної політики у сфері природокористування, туризму та регіонального розвитку. Значний досвід у розвитку рекреаційного лісокористування мають такі країни, як Фінляндія, Німеччина, Польща, Швеція та Австрія, де створено розвинену мережу рекреаційної інфраструктури, що охоплює туристичні маршрути, екологічні стежки, зони відпочинку, інформаційні центри та спеціально облаштовані території для активного туризму. Необхідним принципом є забезпечення доступності лісів для населення, що сприяє популяризації екологічного туризму та формуванню культури відповідального природокористування.

До того ж у країнах ЄС широко застосовуються економічні механізми стимулювання розвитку рекреаційного лісокористування, се-

ред яких ключове місце посідають інвестиційні програми розвитку рекреаційної інфраструктури, фінансування з державних і регіональних бюджетів, а також залучення коштів європейських фондів. Значну роль відіграють програми підтримки сталого розвитку сільських територій, у межах яких фінансуються проєкти створення туристично-рекреаційних об'єктів у лісових регіонах. Одним зі значущих інструментів є державно-приватне партнерство, яке дає змогу ефективно поєднувати ресурси держави та приватного сектору для розвитку рекреаційної інфраструктури, зокрема приватні інвестиції залучаються до створення кемпінгів, туристичних комплексів, велосипедних маршрутів, центрів екологічної освіти та інших об'єктів рекреації в лісових масивах. Європейський досвід також передбачає активне використання екологічних фінансових інструментів, зокрема платежів за екосистемні послуги, екологічних фондів і грантових програм, і такі механізми сприяють фінансуванню заходів зі збереження біорізноманіття, підтримки природних ландшафтів і розвитку екотуризму.

Для України євроінтеграційні орієнтири розвитку рекреаційного лісокористування пов'язані з гармонізацією національного законодавства з нормами Європейського Союзу, упровадженням принципів сталого управління лісами, а також розвитком сучасних фінансово-економічних інструментів підтримки рекреаційної діяльності. Визначальним напрямом є інтеграція у європейські програми співробітництва, що передбачають фінансування проєктів розвитку екотуризму, охорони лісових екосистем і підвищення рекреаційної привабливості природних територій.

## ВИСНОВКИ

Використання європейського досвіду створює передумови для формування ефективної системи управління рекреаційним лісокористуванням в Україні, що ґрунтується на принципах сталого розвитку, раціонального природокористування та збалансованості економічних, соціальних й екологічних інтересів. У країнах Європейського Союзу рекреаційна функція лісів розглядається як важливий елемент державної політики у сфері природокористування, туризму та охорони довкілля, тому адаптація таких підходів є актуальною для України. Завпровадження сучасних фінансово-економічних механізмів, зокрема інвестиційних інструментів, програм державної підтримки та державно-приватного партнерства, сприятиме залученню фінансових ресурсів у розвиток рекреаційної інфраструктури лісових територій, що дасть змогу модернізувати наявні об'єкти відпочинку,

створювати нові туристичні маршрути, екологічні стежки та рекреаційні зони. Водночас важливим напрямом є гармонізація національного законодавства з європейськими стандартами у сфері управління лісами та охорони довкілля, що забезпечить упровадження сучасних під-

ходів до сталого лісокористування. Тому інтеграція європейського досвіду сприятиме підвищенню конкурентоспроможності рекреаційного потенціалу вітчизняних лісових територій, їх раціональному використанню та забезпеченню довгострокового сталого розвитку.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Fixygen. (2025, 15 жовтня). *Площа українських лісів — 10,4 млн га держфонду і до 2 млн га самозаліснених територій*. Взято з <https://www.fixygen.ua/news/20251015/ploshcha-ukrayinskih-lisiv-104-mln-ga-derzhfondui-do-2-mln-ga-samozalisnениh-teritoriy.html/>
2. Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2024 рік. (2025). Київ: Держліс-агентство України.
3. Гюлтекін, О. (2022). Еколого-економічне забезпечення рекреаційного лісокористування в умовах поглиблення децентралізаційних процесів. *Економіка та суспільство*, 44. doi: 10.32782/2524-0072/2022-44-66
4. Дейнека, А., & Копач, М. (2001). Проблеми і перспективи рекреаційного використання лісів Львівської області. *Регіональна економіка*, 2, 171–175.
5. Дзюбенко, О. М. (2019). *Інвестиційно-інноваційне забезпечення розвитку лісового сектору України: інституціональні засади та напрями диверсифікації*. Житомир: Житомирська політехніка.
6. Карпук, А. І., & Лицур, І. М. (2019). Рекреаційне лісокористування чи заповідання лісів (економічна ефективність та екологічна доцільність). У *Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва* (с. 36–37). Київ.
7. Питуляк, М. Р., & Питуляк, М. В. (2017). Особливості рекреаційного лісокористування в Тернопільській області. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія*, 43.2, 185–190.
8. Калущий, І. Ф., Запоточний, М. М., & Осташук, Р. В. (2011). Проблеми збереження гірських лісів в умовах інтенсивного розвитку рекреації на Прикарпатті. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 21(13), 8–17.
9. Дребот, О. І., & Клим, Н. М. (2025). Основи рекреаційного лісокористування із врахуванням економічних механізмів. *Ефективна економіка*, 8. doi: 10.32702/2307-2105.2025.8.12
10. Ільїна, М. В., & Шпильова, Ю. Б. (2018). Сутнісні характеристики системи сталого рекреаційного природокористування на сільських територіях України. *Бізнес, економіка, сталий розвиток, лідерство та інновації*, 1, 16–25.

### DEVELOPMENT OF RECREATIONAL FOREST USE IN UKRAINE: FINANCIAL AND ECONOMIC INSTRUMENTS AND EUROPEAN INTEGRATION PRIORITIES

**Kalyna T.**

Doctor of Economics, Professor

Pylyp Orlyk International Classical University (Mykolaiv, Ukraine)

e-mail: [tkalinka.zin@gmail.com](mailto:tkalinka.zin@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2705-9382>

**Stupen R.**

Doctor of Economics, Professor

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies of Lviv (Lviv, Ukraine)

e-mail: [romomas@ukr.net](mailto:romomas@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4951-2838>

**Arzumanyan T.**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odesa, Ukraine)

e-mail: [tatianaarz@ukr.net](mailto:tatianaarz@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1470-1310>

*The article examines the theoretical and practical aspects of the development of recreational forest use in Ukraine in the context of financial and economic support and European integration guidelines. It is substantiated that forest resources of Ukraine are an important component of the country's natural resource potential and perform economic, ecological, and social functions, in particular providing conditions for recreational activities of the population. The essence of the concept of recreational forest use and its role in ensuring recreation, public health improvement, and the development of tourism and recreational activities are defined. The current state of forest resources in Ukraine, their territorial distribution, and trends in forest regeneration are analyzed. It is established that the development of recreational forest use contributes to the diversification of economic activities in forestry, the formation of new types of economic activity, the development of tourism and recreational infra-*

structure, and the increase of the investment attractiveness of territories. The necessity of applying a complex of financial and economic instruments is substantiated, including budget financing, investment mechanisms, public-private partnerships, tax incentives, and payments for the use of recreational forest resources. The European experience in the development of recreational forest use is studied, and the prospects for adapting the best practices of the European Union countries to the conditions of Ukraine are identified. Priority directions for the development of recreational forest use in the context of European integration processes and sustainable forest management are determined.

**Keywords:** tourism, forest resources, taxes, payments, recreational infrastructure, sustainable development, European integration, ecosystem services.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**КАЛИНА Тетяна Євгеніївна** — доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії та землеустрою, ПЗВО “Міжнародний класичний університет імені Пилипа Орлика” (вул. Котельна, 2, м. Миколаїв, Україна, 54034; e-mail: tkalinka.zin@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2705-9382>).

**СТУПЕНЬ Роман Михайлович** — доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії та геоінформатики, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького (вул. Пекарська, 50, м. Львів, Україна, 79010; e-mail: romomas@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4951-2838>).

**АРЗУМАНЯН Тетяна Юріївна** — кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри геодезії та землеустрою, Одеська державна академія будівництва та архітектури (вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, Україна, 65029; e-mail: tatianaarz@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1470-1310>).

## Новини

### Новини

## Новини • Новини • Новини

За даними нового дослідження (earth.com), льодовики є “генетичними архівами”, що тисячоліттями зберігають гени резистентності до антибіотиків. “Річки та озера, що живляться льодовиками, є важливими джерелами води для мільйонів людей. Після того, як гени стійкості потрапляють у ці пов'язані системи, вони можуть взаємодіяти із сучасними бактеріями, збільшуючи ризик поширення через мікробні спільноти”, — кажуть дослідники. Автор дослідження **Гуаннан Мао** наголошує, що глобальне потепління перетворює льодовики з “архівів” на “активні джерела” розповсюдження цих генів. Вчені не стверджують, що льодовики самі створюють “супербактерії”, однак вивільнення генів стійкості підвищує ймовірність небезпечних комбінацій із патогенними бактеріями.

**КОМПЕНСАЦІЙНИЙ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ  
У СИСТЕМІ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗВИТКУ  
ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА****І. Є. Ярова***кандидат економічних наук, доцент**Сумський державний університет (м. Суми, Україна)**e-mail: zhs813@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9840-131X>*

Сучасні трансформаційні екодеструктивні виклики (глобальні кліматичні зміни, воєнні й корупційні виклики, забруднення, надзвичайні ситуації техногенного характеру, низький еколого-економічний та організаційний рівень лісокористування) в системі просторового лісогосподарського розвитку зумовлюють необхідність поглиблення теоретико-організаційних засад формування комплексного компенсаційного механізму, спрямованого на усунення порушень екологічної рівноваги в лісових екосистемах, а також на відновлення ресурсного, екосистемного й соціально-екологічного потенціалу лісів на різних ієрархічних рівнях просторового господарювання. Метою цього дослідження є поглиблення організаційно-економічних засад розвитку компенсаційного еколого-економічного механізму забезпечення збалансованого просторового розвитку лісового господарства. Детально охарактеризовано сутнісно-змістовну основу компенсаційного механізму відшкодування екодеструктивних витрат (втрат, збитків) унаслідок дії ідентифікованих антропогенних факторів (неефективне, екологічно небезпечне господарювання, адресне забруднення, вилучення лісогосподарських земель, воєнні збитки і т. ін.) через такі його складові: механізм економіко-правової екологічної відповідальності (охоплює систему договірних відносин), державно-приватне партнерство, систему лісоекологічного страхування, механізм соціально-екологічної відповідальності й екологічно спрямовану діяльність соціального підприємництва та некомерційних організацій. Зроблено акцент на формуванні простору відшкодування екодеструктивних витрат. Уперше обґрунтовано структурні складові комплексного компенсаційного еколого-економічного механізму забезпечення збалансованого просторового лісогосподарювання в такому форматі: компенсаційний механізм мінімізації екологічних ризиків лісогосподарювання, комплексний механізм відшкодування екодеструктивних витрат (втрат), компенсаційний механізм збереження й відновлення екосистемного потенціалу (капіталу) лісів. Розкрито сутнісно-змістовну основу компенсаційного механізму мінімізації екологічних ризиків лісогосподарювання.

**Ключові слова:** збалансований простір, структура, компенсаційно-фінансові механізми/інструменти, екодеструктивні витрати, екологічний ризик, лісова екосистема.

**ВСТУП**

Глобальні кліматичні зміни, воєнні й корупційні виклики, забруднення, надзвичайні ситуації техногенного характеру, низький еколого-економічний та організаційний рівень лісокористування потребують застосування не тільки цілеспрямованих компенсаційних процесів (ідеється насамперед про лісопорушення), а й здійснення відновлювальних лісогосподарських заходів, спрямованих на усунення порушеної екологічної рівноваги в лісових екосистемах, збереження екосистемних послуг, ресурсного й екосистемного потенціалу (капіталу) лісів. Об'єктивно необхідна певна мінімізація екодеструктивних втрат багатопільового й інтегрованого лісокористування в економічному (господарському), екологічному й соціальному просторі. Серед об'єктивних передумов формування компенсаційного механізму забезпечення

збалансованого лісогосподарювання в контексті сучасних викликів виокремлюють такі: підвищення інтенсивності й масштабності воєнного та техногенного навантаження на лісові екосистеми; високий ризик виникнення техногенних аварій, катастроф, надзвичайних ситуацій; необхідність збереження та відтворення екосистемних послуг лісів; глобальні кліматичні зміни, які підсилюють екодеструктивний стан лісів; відсутність дієвої системи контролю за збалансованим лісокористуванням на різних ієрархічних рівнях просторового розвитку; недостатньо сформований соціально-екологічний та еколого-економічний інтерес до результатів використання, відтворення, охорони й збереження лісових ресурсів і лісових екосистем; недосконале організаційно-інституціональне середовище в лісовому секторі. Отже, сучасні трансформаційні екодеструктивні виклики в

системі просторового лісогосподарювання зумовлюють необхідність поглиблення теоретико-організаційних засад формування комплексного компенсаційного механізму, спрямованого на усунення порушень екологічної рівноваги в лісових екосистемах, а також на відновлення ресурсного, екосистемного й соціально-екологічного потенціалу лісів на різних ієрархічних рівнях природокористування.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Варто зазначити, що основу методології формування компенсаційного механізму в лісовому господарстві становить насамперед оцінка екодеструктивних витрат (антропогенних, екологічних витрат/втрат) у лісовому господарстві у форматі еколого-економічного збитку від деградації лісових екосистем, а також необхідність відновлення й збереження лісів на багатоцільовій та інтегрованій основі. Визначення величини еколого-економічного збитку від деградації лісових екосистем базується на економічній оцінці лісових ресурсів.

Проблематика економічної оцінки лісових ресурсів і лісових екосистем, еколого-економічного збитку від дії та впливу різноманітних екодеструктивних факторів на стан лісів та обсяги лісокористування висвітлена в наукових працях І. Я. Антоненко, М. І. Бублик, О. О. Веклич, О. А. Голуба, О. І. Дребот, Р. Г. Дубаса, А. І. Карпука, Я. В. Ковалю, І. М. Лицура, Є. В. Мішеніна, І. М. Синякевича, І. П. Соловія, О. І. Фурдичка, Х. М. Шершуна [1–9].

Формуванню теоретико-методологічних основ компенсаційного механізму природокористування присвячені роботи багатьох дослідників різних наукових шкіл екологічної економіки та економіки природокористування. Слід виокремити дослідження К. О. Костецької, у якому розкрито науково-організаційні засади розвитку й реалізації компенсаційного механізму природокористування на транскордонному рівні [10]. У праці Л. Є. Купінець і О. В. Жавнерчик розглянуто компенсаційний механізм мінімізації екологічних ризиків аграрного землекористування [11]. Відшкодування еколого-економічних збитків від лісопорушень на основі механізму економіко-правової відповідальності, системи договірних відносин і лісоекологічного страхування досліджував Є. В. Мішенін [12]. У роботах О. О. Веклич, О. М. Кобзар, В. М. Колмакової, І. М. Патоки розкрито змістове наповнення механізму екологічної компенсації (механізму екокомпенсацій) і запропоновано його структуру [13; 14]. Механізм відшкодування втрат лісогосподарського виробництва для ефективного ведення

кадастру лісових земель запропоновано у праці [15]. Також досліджено проблематику формування організаційно-правового механізму охорони лісових ресурсів [16].

Загалом проведений аналіз показав, що недостатньо дослідженими залишаються специфічні організаційно-економічні аспекти формування компенсаційного механізму у сфері просторового лісогосподарювання.

**Мета дослідження** — поглиблення організаційно-економічних засад розвитку компенсаційного еколого-економічного механізму забезпечення збалансованого просторового розвитку лісового господарства. Доцільно зазначити, що порушення екологічної рівноваги лісових екосистем унаслідок дії та прояву різноманітних антропогенних факторів у системі просторового лісогосподарювання призводить до виникнення екодеструктивних витрат. Отже, передусім ідеться про компенсаційний механізм відшкодування екодеструктивних витрат у лісовому господарстві.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологія дослідження базується на системному та комплексному підході до вивчення соціально-еколого-економічної проблеми природокористування щодо поглиблення теоретико-методологічних засад формування компенсаційного механізму, спрямованого на відновлення ресурсного, екосистемного й соціально-екологічного потенціалу лісів на різних ієрархічних рівнях просторового лісогосподарювання.

Використовували такі основні наукові методи дослідження: *монографічний* — для вивчення структурно-змістовної основи формування компенсаційного механізму щодо усунення й запобігання деградації лісових екосистем; *абстрактно-логічний* — для обґрунтування організаційно-економічних засад побудови компенсаційного механізму в системі просторового лісогосподарювання; *системно-структурний* — для виявлення ключових елементів, які визначають еколого-економічну основу структурної побудови компенсаційного механізму. Інформаційну основу дослідження становили законодавчі й нормативні акти у сфері економіки природокористування та охорони навколишнього природного середовища, методичні рекомендації наукових установ, вітчизняні й закордонні літературні джерела, інформація з інтернет-ресурсів, а також матеріали власних наукових досліджень, що характеризують еколого-економічний стан лісових ресурсів, ефективність їх використання та відтворення.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Слід констатувати, що на сьогодні не існує однозначного розуміння термінологічного поняття компенсаційного механізму, що зумовлює необхідність подальшого дослідження його сутнісно-змістовного концепту та структурно-функціональної побудови в системі просторового розвитку лісового господарства.

Варто наголосити, що компенсація є цивільно-правовою формою відшкодування екологічної шкоди, яка зводиться до відшкодування заподіяних збитків. Під екологічною шкодою розуміють погіршення якісного стану окремих природних ресурсів і навколишнього природного середовища. Згідно зі ст. 69 Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища”, шкода, заподіяна внаслідок порушення природоохоронного законодавства, підлягає компенсації в повному обсязі [17]. Компенсація є формою відшкодування збитків. При цьому компенсація екологічної шкоди, як правило, здійснюється у форматі позадоговірних зобов’язань. Однак механізми економіко-правової відповідальності за раціональне природокористування охоплюють також систему договірних зобов’язань щодо дотримання екологічних норм і правил у процесі господарської діяльності.

У спеціальних наукових працях компенсацію розглядають як сукупність дій, спрямованих на зниження негативного ефекту господарської або іншої діяльності на певний вид природного ресурсу, а також як складову частину природоохоронних заходів, які планують на стадії підготовки такої господарської чи іншої діяльності (наприклад, організація риборозводного підприємства при меліорації) [18]. При цьому суб’єктом компенсаційних процесів може виступати й держава, особливо у сфері забезпечення екологічної безпеки від природних і техногенних екодеструктивних ризиків (кліматичних змін, воєнних дій, техногенних аварій і катастроф). Так, компенсаційний механізм екологічної безпеки аграрного землекористування (мінімізації екологічних ризиків) містить інструментарій економічного стимулювання господарських суб’єктів до збалансованого використання земель сільськогосподарського призначення. Цей інструментарій спрямований на певну зміну фінансово-майнового стану суб’єктів аграрного землекористування з метою вирівнювання дисбалансу між екологічною безпекою аграрного природокористування та його економічною ефективністю [11, с. 209].

Наведені методологічні аспекти щодо визначення та організаційно-економічного забезпечення компенсаційних процесів потребують

оцінки *екодеструктивних витрат* (втрат, збитків). Вартісна оцінка різних видів нерегламентованих лісових порушень (недотримання стандартів і правил), антропогенних екодеструктивних відхилень від природно зумовленого стану лісових екосистем, у принципі, формує склад *екодеструктивних витрат* (антропогенних екологічних витрат) у системі просторового лісогосподарювання:

1. Втрати сировинної лісопродукції в межах багатоцільового лісокористування.

2. Втрати від зменшення соціально-екологічних послуг лісів (зокрема, це стосується рекреаційних та агролісомеліоративних послуг, зменшення біорізноманіття).

3. Витрати, пов’язані безпосередньо з ліквідацією наслідків антропогенного стану лісових екосистем (прибирання сухостою, очищення лісосіки від недорубів, додаткова закладка лісових культур, застосування хімічних засобів проти шкідників тощо).

4. Витрати на зниження негативного впливу (запобігання) дестабілізуючих чинників на лісову екосистему (наприклад, підвищення стійкості лісових насаджень здійснюється шляхом внесення мінеральних добрив, застосування хімічних засобів захисту рослин).

5. Трансакційні витрати щодо забезпечення екологічної безпеки лісогосподарювання та здійснення компенсаційно-фінансових процесів (це витрати, наприклад, на моніторинг, екологічний контроль, додаткову лісоекологічну інформацію).

Представлене методологічне положення дає змогу розглядати компенсаційний механізм екодеструктивного лісогосподарювання з позиції таких *видових форм компенсації* (відшкодування) *екодеструктивних витрат* у сфері використання та відтворення лісових ресурсів:

1. Відшкодування екологічної шкоди у форматі еколого-економічного збитку в системі регуляторних природоохоронних (екологічних) правовідносин як необхідний процес відшкодування екодеструктивних витрат у судовому й арбітражному порядку.

2. Відшкодування еколого-економічного збитку, завданого екологічно збалансованому стану лісових екосистем у процесі неефективного (екодеструктивного) лісокористування на основі системи договірних зобов’язань.

3. Відшкодування екодеструктивних витрат (збитку) через систему державно-приватного партнерства.

4. Відшкодування економічного збитку від впливу екодеструктивних факторів на стан лісових екосистем на основі системи лісоекологічного страхування.

5. Додаткова державна й регіональна фінансова компенсація еколого-економічного збитку, завданого особливо цінним лісовим екосистемам, для його повного відшкодування, якщо винуватець не має для цього фінансових можливостей.

6. Додаткова державна й регіональна фінансова компенсація екодеструктивних витрат у разі прояву негативних кліматичних змін, виникнення лісових пожеж, унаслідок воєнних дій і т. ін.

7. Здійснення екологічно зумовлених компенсаційних процесів у межах реалізації господарськими суб'єктами принципів соціально-екологічної відповідальності.

8. Добровільна участь у лісогосподарських екологічних компенсаційних акціях суб'єктів соціального підприємництва та некомерційних організацій.

Отже, еколого-економічний механізм відшкодування екодеструктивних витрат у лісогосподаруванні є комплексною системою організаційно-економічних форм (технологій), методів, механізмів та інструментів, спрямованих на відшкодування екодеструктивних витрат (втрат) унаслідок дії антропогенних факторів (рис. 1). Вплив антропогенних факторів на стан лісових ресурсів та екосистем має територіально-просторовий характер, і оцінка лісогосподарських екодеструктивних витрат здійснюється на різних ієрархічних рівнях господарювання, тому це дає змогу визначати простір відшкодування екодеструктивних витрат як поняття.

Необхідно відзначити, що саме розвиток економіко-правового механізму екологічної відповідальності за лісопорушення різними господарюючими суб'єктами є важливою складовою компенсаційного механізму відшкодування екодеструктивних витрат у лісовому господарстві. З розвитком ринкових відносин у лісовому господарстві розширюється коло лісокористувачів різних форм власності (зокрема, це стосується оренди лісового фонду, розвитку лісгосподарського підприємництва). У цих умовах актуалізується проблематика збереження, оздоровлення та поліпшення стану лісоресурсного й екосистемного потенціалу лісів. Соціально-екологічно орієнтована відповідальність за результати лісгосподарювання виступає як відповідальність за наслідки нераціонального лісоприродокористування, що стосуються еколого-економічних і соціальних інтересів суспільства, конкретних суб'єктів господарювання та окремих громадян. Економіко-правові санкції виступають мірою відповідальності, як уже зазначалося, за дотримання екологічних вимог, правил чи нормативних показників у системі просторового лісгосподарювання. Економіко-правовий механізм екологічної відповідальності можна подати як структурно-функціональну систему зв'язків і відносин, відповідних їм організаційно-економічних і правових форм, покликаних забезпечувати економіко-правову екологічну відповідальність за нераціональне лісоприродокористування на основі екологічної регламентації діяльності суб'єктів господарювання.

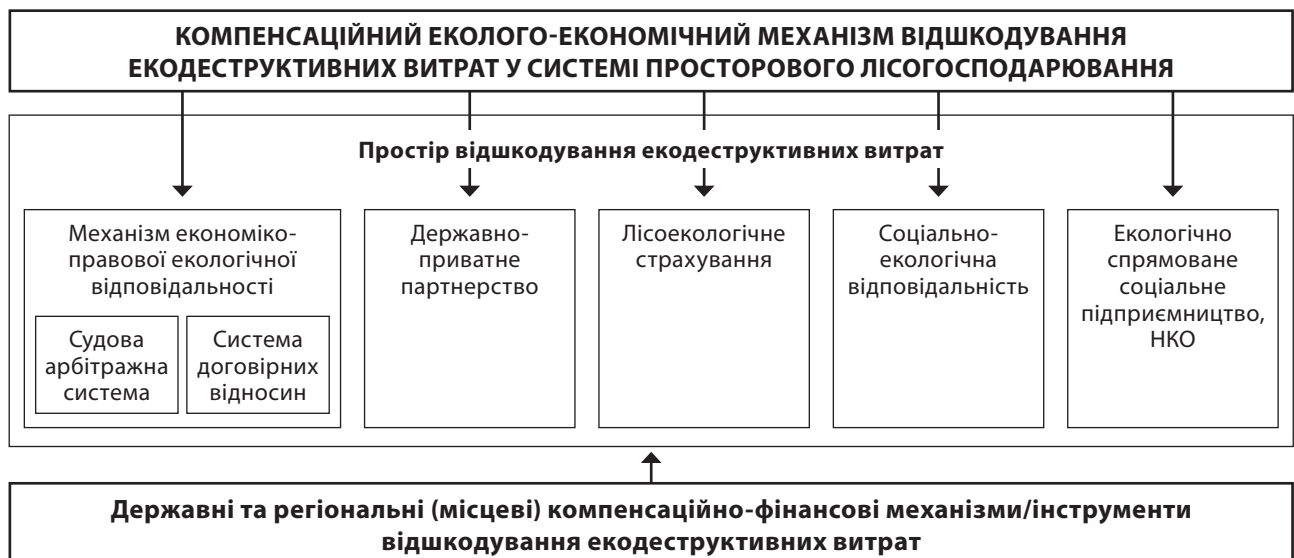


**Рис. 1.** Структура компенсаційного еколого-економічного механізму відшкодування екодеструктивних витрат у системі просторового лісгосподарювання

Джерело: розроблено автором з урахуванням [12; 13, с. 40–42].

Примітка. НКО — некомерційні організації.

Державно-приватне партнерство в системі просторового лісогосподарювання орієнтоване на розподіл сфер екологічного управління, контролю, ризиків і результатів природокористування між партнерами підприємницького лісогосподарювання на довгостроковій основі. Із цих позицій екологічно зумовлені компенсаційні процеси щодо відшкодування екодеструктивних витрат здійснюються на партнерських засадах. За таких умов компенсація еколого-економічних збитків може здійснюватися більш ефективно й повно. Слід також зазначити, що формування страхових лісоекологічних фондів може забезпечити запобігання й усунення негативних наслідків екодеструктивного стану лісових екосистем як за наявності кошторисно-бюджетної системи фінансування лісового господарства, так і за реалізації госпрозрахункових механізмів лісогосподарювання. Важливим ефективним механізмом розвитку лісоекологічного страхування є створення на регіональному рівні товариств взаємного страхування [13, с. 222–224].

Загалом комплексний компенсаційний еколого-економічний механізм збалансованого просторового лісогосподарювання — це цілісна система організаційно-економічних форм (технологій), методів, механізмів та інструментів, спрямованих на мінімізацію екологічних ризиків багатоцільового й інтегрованого лісокористування, відшкодування екодеструктивних витрат, а також на збереження та відновлення екосистемного потенціалу лісів. Отже, структура комплексного компенсаційного механізму охоплює три основні складові, які, своєю чергою, мають свій інструментальний склад (рис. 2).

Критеріями функціонування компенсаційного еколого-економічного механізму забезпечення збалансованого просторового лісогосподарювання можна вважати:

- обґрунтоване чітке дотримання та використання законодавчо-правових норм функціонування компенсаційних інституцій лісівничо-еколого-економічного спрямування;
- ефективний та дієвий контроль і моніторинг компенсаційно-фінансових процесів на

різних ієрархічних рівнях збалансованого управління лісовими ресурсами й лісовими екосистемами;

- визначення обґрунтованої та прозорої практики нарахування й розподілу компенсаційних виплат у сфері лісогосподарювання;
- покрокове ефективне формування соціально-еколого-економічних механізмів (інструментів) збалансованого просторового лісогосподарювання в аспекті компенсаційних процесів та екологічної безпеки лісових ресурсів і лісових екосистем.

Комплексний механізм мінімізації екологічних ризиків у лісогосподарюванні (рис. 2) функціонально орієнтований на забезпечення екологічної безпеки (екологічної рівноваги) лісових ресурсів і лісових екосистем та охоплює інструментарій економічного стимулювання щодо запобігання й зменшення екодеструктивних втрат у лісогосподарюванні внаслідок негативного прояву дестабілізуючих факторів (зокрема, це стосується небезпечних кліматичних змін, стихійного порушення санітарного стану лісів, виникнення природних лісових пожеж тощо) [19–21].

Інструментарій еколого-економічного стимулювання повинен впливати на фінансово-майновий стан суб'єктів лісогосподарювання з метою вирівнювання дисбалансу між екологічною безпекою багатоцільового й інтегрованого лісокористування та його економічною ефективністю. Така методологічна позиція, як ми вже зазначали, простежується в роботі [11].

Варто зазначити, що сутність небезпек у системі просторового лісогосподарювання полягає в суб'єктивному існуванні ймовірних змін в екологічній рівновазі лісових екосистем, що може призвести до екодеструктивних витрат на різних ієрархічних рівнях господарювання.

Із цих позицій ризиковий підхід у системі просторового лісогосподарювання зумовлює необхідність:

- ідентифікації небезпек, загроз і потенціалу їх уникнення (пом'якшення);

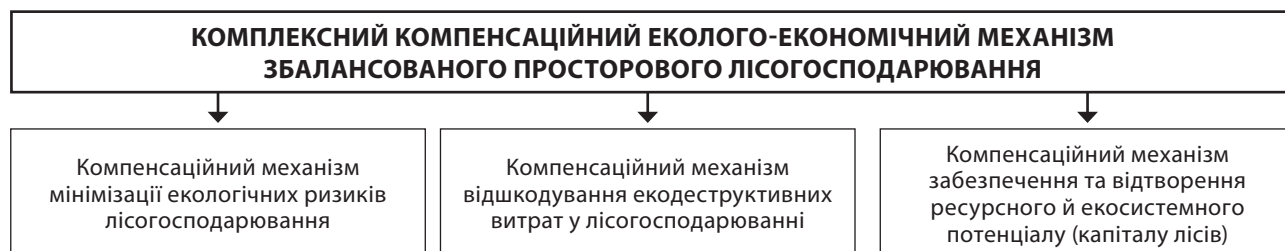


**Рис. 2.** Структура комплексного компенсаційного еколого-економічного механізму збалансованого просторового лісогосподарювання

Джерело: розроблено автором з урахуванням [11; 14].

- формування лісоекологічної системи індикаторних показників;
- ухвалення відповідних управлінських рішень і лісогосподарських заходів щодо мінімізації (нейтралізації) ризиків.

При цьому варто враховувати як внутрішньовиробничі еколого-економічні ризики, так і екстернальні (забруднення, вилучення земель лісогосподарського призначення, порушення водного балансу та ін.).

Для утримання еколого-економічного ризику в межах допустимого необхідні відповідні превентивні та профілактичні заходи на різних ієрархічних рівнях просторового лісогосподарування.

Компенсаційний механізм збереження й відновлення екосистемного потенціалу (капіталу) лісів спрямований на використання спеціальних механізмів/інструментів, що забезпечують мотиваційний підхід до збереження та відновлення екосистемних послуг у межах багатоцільового й інтегрованого лісокористування, а також формування відповідних екосистемних активів.

## ВИСНОВКИ

Комплексний компенсаційний еколого-економічний механізм спрямований на усунення порушень екологічної рівноваги в лісових екосистемах, а також на відновлення потенціалу лісів на різних ієрархічних рівнях лісогосподарського розвитку. Структурні складові комплексного компенсаційного еколого-економічного механізму забезпечення збалансованого просторового розвитку лісового господарства охоплюють компенсаційний механізм мінімізації екологічних ризиків лісокористування, комплексний механізм відшкодування екодеструктивних витрат (втрат), компенсаційний механізм збереження та відновлення екосистемного потенціалу (капіталу) лісів. Функціонування цього механізму відбувається в межах простору відшкодування екодеструктивних витрат. Подальші дослідження доцільно спрямувати на конкретизацію еколого-економічного інструментарію щодо оцінки ефективності функціонування окремих складових комплексного компенсаційного механізму забезпечення збалансованого просторового лісогосподарування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бублик, М. І. (2008). Особливості оцінки збитків від надзвичайних ситуацій у лісовому господарстві. *Науковий вісник НЛТУ України*, 18.5, 230–238. Взято з [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18\\_5/230\\_Bublyk\\_18\\_5.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18_5/230_Bublyk_18_5.pdf)
2. Веклич, О. О. (2018). Екосистемний підхід оцінювання економічного збитку від забруднення навколишнього природного середовища: українська автентичність. *Економіка України*, 4(677), 63–75. doi: 10.15407/ekonoukr.2018.04.063
3. Дубас, Р. Г. (2011). Методичні підходи еколого-економічної оцінки лісових ресурсів. *Ефективна економіка*, 11, 39–43. Взято з <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=761>
4. Коваль, Я. В., & Антоненко, І. Я. (2004). *Економічна (грошова) оцінка природних ресурсів лісового фонду України: теорія, методологія, методика*. Київ: РВПС України НАН України.
5. Дребот, О. І., Шершун, М. Х., & Шкуратов, О. І. (2014). *Збалансований розвиток лісового сектору економіки в контексті європейської інтеграції України* (О. І. Фурдичко, Ред.). Київ: Аграрна наука.
6. Ткач, В. П., Висоцька, Н. Ю., Торосов, А. С., Букша, І. Ф., Пастернак, В. П., Лось, С. А., ... Бондар, О. Б. (2023). *Економічна оцінка екосистемних послуг лісів України*. Харків: УкрНДІЛГА. Взято з <https://uriffm.org.ua/static/main/files/EcoSys.pdf>
7. Мельник, Л. Г., & Карінцева, О. І. (Ред.). (2004). *Методи оцінки екологічних витрат*. Суми: ВТД “Університетська книга”.
8. Мішенін, Є. В., Мішеніна, Н. В., & Ярова, І. Є. (2016). Системна оцінка рекреаційного землегосподарування у механізмі екосистемного управління природоохоронними територіями. *Збалансоване природокористування*, 3, 126–132.
9. Соловій, І. П. (2016). *Оцінка послуг екосистем, забезпечуваних лісами України, та пропозиції щодо механізмів плати за послуги екосистем*. Взято з [https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/evaluation\\_of\\_forest\\_ecosystem\\_services\\_and\\_proposals\\_on\\_pes\\_mechanisms.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/evaluation_of_forest_ecosystem_services_and_proposals_on_pes_mechanisms.pdf)
10. Костецька, К. О. (2011). *Формування компенсаційного механізму природокористування в транскордонному контексті* (Дис. канд. екон. наук, Ін-т проблем ринку та екон.-екол. досл. НАН України). Одеса. Взято з <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>
11. Купінець, Л. Є., & Жавнерчик, О. В. (2016). *Екологічна безпека аграрного землекористування: теорія і механізми забезпечення*. Одеса: ІПРЕЕД НАНУ.
12. Мішенін, Є. В. (1998). *Еколого-економічні проблеми природокористування у лісовому комплексі* (Я. В. Коваль, Ред.). Суми: ВВП “Мрія-1” ЛТД.
13. Веклич, О. О. (2019). Структура сучасного механізму екологічної компенсації (механізму еко-компенсації). *Ефективна економіка*, 8. doi: 10.32702/2307-2105-2019.8.3
14. Веклич, О. О., Кобзар, О. М., Колмакова, В. М., & Патока, І. М. (2019). *Екосистемні засади оцінювання збитків від забруднення навколишнього природного середовища*. Київ: ДУ ІЕПСР НАН України.
15. Сай, В., & Хавар, Ю. (2022). Механізм відшкодування втрат лісогосподарського виробництва для ефективного ведення кадастру лісових земель. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 2(44),

- 113–120. Взято з <https://ena.lpnu.ua/bitstreams/6eac4fa9-1577-41e4-b84a-6352b857cec1/download>
16. Ярошенко, А. С., Дума, А. А., & Марочко, А. А. (2021). Організаційно-правовий механізм охорони лісових ресурсів. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право*, 67, 169–173. doi: 10.24144/2307-3322.2021.67.33
  17. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” № 1264-XII. (1991, 25 червня). Взято з <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1264-12/page4>
  18. Alfaro, R. I., Fady, B., Vendramin, G. G., Dawson, I. K., Fleming, R. A., Saenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Murdock, T., Vinceti, B., & Navarro, C. M. (2014). The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management*, 333, 76–87. doi: 10.1016/j.foreco.2014.04.006
  19. Barbier, E. B., Burgess, J. C., & Dean, T. J. (2018). How to pay for saving biodiversity. *Science*, 360(6388), 486–488. doi: 10.1126/science.aar3454
  20. Буркінський, Б. В., & Галушкіна, Т. П. (2006). Глобалізація економіки та національна екологічна доктрина. *Економіст*, 9, 20–23.
  21. Li, J., & Wang, Y. (2022). Ecosystem services assessment from capacity to flow: A review. *Transactions in Earth, Environment, and Sustainability*, 1(1), 80–93. doi: 10.1177/2754124X22114991

## COMPENSATORY ECOLOGICAL AND ECONOMIC MECHANISM IN THE SYSTEM OF BALANCED SPATIAL DEVELOPMENT OF FORESTRY

**Yarova I.**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Sumy State University (Sumy, Ukraine)

e-mail: zhs813@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9840-131X>

*Contemporary transformational eco-destructive challenges (global climate change, military and corruption challenges, pollution, man-made emergencies, the low ecological, economic, and organizational level of forest use) in the system of spatial forestry development necessitate deepening the theoretical and organizational foundations for the formation of a comprehensive compensation mechanism aimed at eliminating disturbances to the ecological balance in forest ecosystems, as well as restoring the resource, ecosystem, and socio-ecological potential of forests at various hierarchical levels of spatial forest management. The purpose of this study is to deepen the organizational and economic foundations for the development of a compensatory ecological and economic mechanism for ensuring the balanced spatial development of forestry. The essential and substantive basis of the compensation mechanism for eco-destructive costs (losses, damages) resulting from the action of identified anthropogenic factors (inefficient, environmentally hazardous management, targeted pollution, removal of forestry lands, war damage, etc.) is characterized through the following components: the mechanism of economic and legal environmental responsibility (including a system of contractual relations), public-private partnerships, a system of forest environmental insurance, a mechanism of social and environmental responsibility, and the environmentally oriented activities of social enterprises and non-profit organizations. Emphasis is placed on the formation of the space for compensation for eco-destructive costs. For the first time, the structural components of a comprehensive compensatory ecological and economic mechanism for ensuring balanced spatial forest management have been substantiated in the following format: a compensation mechanism for minimizing the environmental risks of forest management, a comprehensive mechanism for compensating for eco-destructive costs (losses), and a compensation mechanism for preserving and restoring the ecosystem potential (capital) of forests. The essential and substantive basis of the compensation mechanism for minimizing the environmental risks of forest management is revealed.*

**Keywords:** *balanced space, structure, compensatory financial mechanisms/instruments, eco-destructive costs, ecological risk, forest ecosystem.*

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**ЯРОВА Інесса Євгенівна** — кандидат економічних наук, доцент, докторант кафедри міжнародних економічних відносин, Сумський державний університет (вул. Харківська, 116, м. Суми, Україна, 40001; e-mail: zhs813@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9840-131X>).

## ДИДЖИТАЛІЗАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ БІЗНЕС-ПРОЦЕСИ МАЛИХ ФОРМ ГОСПОДАРЮВАННЯ В АГРОБІЗНЕСІ

**П. М. Скрипчук**

доктор економічних наук, професор

Національний університет водного господарства та природокористування

(м. Рівне, Україна)

e-mail: petroskrypchuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2835-4711>

**Н. А. Фроленкова**

кандидат економічних наук, доцент

Національний університет водного господарства та природокористування

(м. Рівне, Україна)

e-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4553-9547>

**Р. В. Чата**

аспірант

Національний університет водного господарства та природокористування

(м. Рівне, Україна)

e-mail: korec-sad@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-8207-9320>

**С. Ю. Логвин**

аспірант

Національний університет водного господарства та природокористування

(м. Рівне, Україна)

e-mail: s.yu.logvyn@nuwm.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6639-6347>

Обґрунтовано перспективи розвитку малих форм ведення агробізнесу в Україні, які пов'язані з інноваційно-інвестиційними бізнес-процесами, диджиталізацією управління та запитами глобальної економіки в контексті євроінтеграції України. Запропоновано інструменти та інновації для управління агробізнесом, зокрема щодо сталості звітності підприємств, диджиталізації системи управління, теорії та практики стосовно різних видів екологічних слідів, а також сертифікації GlobalG.A.P. Інноваційно-інвестиційні бізнес-процеси малих форм господарювання та нішевих виробництв, упровадження яких сприяє рентабельності бізнесу, охоплюють: будівництво сучасних овочесховищ і холодильників безпосередньо в місцях виробництва; збільшення масштабів експортної логістики; подання грантових заявок через диджитал-ресурси "Дія" та "єРобота"; придбання сонячних панелей для холодильників; автоматизацію складської логістики; різні варіанти кредитних ліній. Установлено, що агробізнес трансформується з традиційного виробництва в експортноорієнтований технологічний сектор через інноваційно-інвестиційні бізнес-процеси середніх і малих форм господарювання та нішевих виробництв для рентабельності бізнесу. Визначено ключові тенденції та елементи сучасного садівництва для впровадження: системи зберігання та переробки; цифровізація та інтелектуальне управління; гібридні методології управління; енергетична та ресурсна автономність; сертифікація та ESG-комплаєнс; нішеві культури; біологізація та точне землеробство; вертикальна інтеграція та мобільна переробка тощо. Доведено, що сучасні тенденції в садівництві свідчать про завершення ери екстенсивного розвитку та перехід до моделі інтелектуального й диджиталізованого агробізнесу на засадах бізнес-процесного управління. Сьогодні успішний бізнес — це гібридна екосистема, де біологічні активи захищені високими технологіями, а фінансова стійкість базується на диверсифікації джерел фінансування та енергетичній незалежності. Цифрова трансформація перестала бути лише елементом престижу, перетворившись на інструмент виживання бізнесу.

**Ключові слова:** інноваційно-інвестиційне управління, інструментарій, водний і земельний сліди, гранти.

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу України характеризується глибокою трансформацією — від екстенсивного вирощування сировини до створення високотехнологічних екосистем із високою доданою вартістю. Тривалий інвестиційний лаг, висока залежність від кліматичних чинників і дефіцит кваліфікованої робочої сили формують унікальне середовище ризиків. Традиційні методи господарювання стають неконкурентоспроможними в умовах диджиталізації, глобалізації, посилення вимог європейського ринку.

В Україні, за експертними оцінками, серед особистих селянських господарств налічується 700–800 тис. таких, що могли б набути статусу суб'єкта підприємницької діяльності (сімейних ферм) та бути повноцінними учасниками аграрного ринку [1]. Світовий досвід показує, що основу аграрного сектору країн із розвинутою ринковою економікою становлять малі та середні сільськогосподарські товаровиробники. Саме для цих форм господарювання передбачено найбільше спрощень у реєстрації, веденні обліку та звітності, найсуттєвіші за обсягом податкові пільги, а також пряму державну підтримку. Середній розмір фермерського господарства в Україні збільшився з 479 га у 2010 році до 649 га у 2024 році. Фахівці зазначають, що показник розміру фермерських господарств в Україні є значно вищим за європейський рівень, але відповідає історичному шляху розвитку нашої країни. Сільське господарство залишається одним із локомотивів української економіки. Однак майбутнє українського сільського господарства залежить не лише від обсягів виробництва, а й від того, як наш сільськогосподарський сектор структурований, керований та інтегрований у європейські ланцюги створення вартості.

Отже, наявні прогалини у висвітленні бізнес-процесів і засад диджиталізації малих форм агробізнесу. Тому необхідно охарактеризувати еколого-економічні, організаційні, маркетингові засади та інженерні рішення трансформації традиційного виробництва в експортноорієнтований технологічний сектор через інноваційно-інвестиційні бізнес-процеси малого агробізнесу та нішевих виробництв задля рентабельності агробізнесу.

**Мета дослідження** — обґрунтування необхідності диджиталізації бізнес-процесів малого агробізнесу.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання малого агробізнесу, аграрної економіки, диджиталізації та застосування бізнес-процесного управління вивчали І. М. Беженар,

О. Ю. Грищенко, Л. А. Жураковська, М. Й. Малик, В. А. Мамчур, Г. В. Спаський, Т. С. Шаба-тура, О. Г. Шпикуляк, S. Abramov, R. Bertini, D. Byerlee, S. Fan, P. Hazell, K. Hintz, S. Lowder, E. Partiti, P. Pingali, E. Popkova, G. Rapsomanikis, H. Salali, M. Sánchez та ін. [2–11].

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час написання статті використовували такі методи дослідження: теоретичний, аналіз і синтез, абстрагування, узагальнення та систематизація. Їхня сутність полягає в побудові сучасних моделей і теоретичних концепцій, які дали змогу виявити внутрішні закономірності й взаємозв'язки для реалізації на практиці диджиталізації управління через інноваційні та системні бізнес-процеси в агробізнесі.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Попри виклики воєнного часу, у 2025 році малі сільськогосподарські виробники й одноосібники у сфері садівництва України продемонстрували стійкість у веденні агробізнесу. До 2022 року галузь стабільно зростала завдяки інтенсифікації через упровадження крапельного зрошення, нових сортів, автоматизації виробничих процесів тощо. Війна внесла корективи, проте загальний обсяг виробництва фруктів і ягід у 2023–2024 роках коливався в межах  $\pm 10\%$  від довоєнного рівня, що свідчить про високу адаптивність.

Ключовим фактором стала переорієнтація з внутрішнього ринку на експортні ринки ЄС та Близького Сходу:

- **виробничі показники:** урожай яблук у 2025 році задовольнив внутрішній попит і дав змогу зберегти прибутковість професійних господарств (ціни — 20–30 грн/кг). Незважаючи на стабільність, ROI тут не є найвищим через витрати на зберігання (холодильники й сортувальні лінії). Якщо немає власного холодильника — рентабельність падає до 8–10%. Найвищий показник ROI має малина (до 45%), оскільки початкові інвестиції в рази менші, ніж у сади, а повернення грошей починається вже на другий рік. Для черешні через дорогі захисні системи (сітки від птахів і дощу) проєкт окупається довго. Проте після 8-го року це найбільш прибутковий актив;
- **ягідний бум:** Україна закріпилася серед лідерів світових експортерів замороженої малини. Площі під лохиною продовжують зростати (приріст +10–15% щорічно) через високу маржинальність. Проте весняні заморозки 2025 року спричинили втрати врожаю лохини

ДИДЖИТАЛІЗАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ БІЗНЕС-ПРОЦЕСИ  
МАЛИХ ФОРМ ГОСПОДАРЮВАННЯ В АГРОБІЗНЕСІ

- (20–30%) та суниці садової (до 50%), що стимулювало інвестиції в системи захисту;
- **горіховий сектор:** площі під фундуком і волоським горіхом стабілізувалися, але проєкти 2024–2025 років масово виходять на етап товарного плодоношення. Рентабельність виглядає низькою (10–12%), але це компенсується найнижчими операційними ризиками (продукція довго зберігається) та мінімальною потребою в ручній праці;
  - **експортний прорив:** Україна другий рік поспіль демонструє рекордні показники з експорту замороженої малини (понад 65 тис. тонн), стабільно входячи до трійки світових лідерів;
  - **державне стимулювання:** програма грантів “єРобота” стала головним драйвером нових проєктів. У 2025 році було схвалено десятки грантів на суму понад 160 млн грн для нових садів і 110 млн грн для теплиць.

Ключові бізнес-процеси впливу на маржинальність малого агробізнесу у 2026 році:

- вартість доставки до ЄС та на Близький Схід становить до 20–30% від маржі. Меншу собівартість мають фермери із власною переробкою;
- брак робочої сили для збору врожаю змушує інвестувати в комбайни (для малини) та платформи (для яблук), що збільшує інвестиції, але знижує операційні ризики;
- енергетична незалежність: власний генератор або сонячна станція під час зберігання яблук і заморожування ягід.

Отже, за актуальними даними, на початок 2026 року галузь трансформувалася з традиційного виробництва в експортноорієнтований технологічний сектор. Україна зміцнила свої позиції як світовий гравець, особливо на ринку замороженої продукції. Ключовими покупцями

є країни ЄС (Польща, Німеччина, Нідерланди), ОАЕ та Саудівська Аравія. Фактично більшість експортних проєктів розвитку працюють за стандартами GlobalG.A.P. і GRASP. Частка експорту сировини зменшується, натомість зростає частка замороженої продукції, меду та соків прямого віджиму. Аналіз маржинальності в садівництві на 2025–2026 роки демонструє зміщення акцентів: через кліматичні аномалії (травневі заморозки 2025 року) та дорогу логістику прибутковість тепер залежить не від обсягу, а від якості й часу виходу на ринок. Економічні показники інтенсивного садівництва наведено в табл. 1.

Аналіз садівництва в Рівненській області на початок 2026 р. показує, що за останні 5 років область є одним із центрів ягідництва та органічного виробництва в Україні. Завдяки сприятливому клімату Полісся та державним програмам підтримки регіон успішно конкурує із західними областями (Волинню та Львівщиною). Станом на 2024–2025 роки площа плодово-ягідних культур в області становить близько 7,3 тис. га (включно з господарствами населення). Промисловий сегмент (підприємства) становить понад 500 га з тенденцією до стрімкого розширення. Ключова спеціалізація: малина, лохина, фундук, шипшина. Тенденції 2024–2025 рр. свідчать про активний розвиток переробки. У 2025 році за підтримки Швейцарії в області відкрили завод із заморожування ягід, що дає змогу фермерам отримувати вищу додану вартість.

На відміну від центру України, де панують агрохолдинги, на Рівненщині садівництво сьогодні — це переважно середні фермерські господарства та ветеранський бізнес. Ключові спеціалізації регіону, які можуть бути успішно реалізовані через інноваційні бізнес-проєкти:

Таблиця 1

Економічні показники інтенсивного садівництва (усереднено на 1 га)

| Культура                 | Собівартість (\$/кг) | Ціна (\$/кг) | Рентабельність (ROI річна) | Окупність (роки) |
|--------------------------|----------------------|--------------|----------------------------|------------------|
| Яблуня (інтенсивна)      | 0,25–0,32            | 0,60–0,85    | 14–18%                     | 5,5–6,5          |
| Груша (сорт Конференція) | 0,35–0,45            | 1,00–1,40    | 18–22%                     | 6,0–7,0          |
| Черешня (під дахом)      | 1,40–1,80            | 3,50–5,50    | 20–25%                     | 6,0–8,0          |
| Вишня (комбайн)          | 0,45–0,55            | 0,85–1,20    | 25–30%                     | 4,5–5,5          |
| Слива                    | 0,28–0,38            | 0,65–0,95    | 22–28%                     | 4,0–5,0          |
| Лохина                   | 1,90–2,30            | 4,20–5,80    | 22–26%                     | 5,5–6,5          |
| Малина (заморожена)      | 1,00–1,30            | 2,00–2,80    | 35–45%                     | 2,5–3,5          |
| Фундук (промисловий)     | 1,20–1,50            | 3,50–4,80    | 10–13%                     | 9,0–11,0         |
| Волоський горіх          | 0,90–1,20            | 2,50–3,80    | 9–12%                      | 10,0–12,0        |

Джерело: сформовано авторами.

- *лохиновий кластер* (Полісся): північні райони (Вараський, Сарненський) стали центром вирощування лохини. Кислі ґрунти та наявність торфовищ дають змогу створювати плантації з нижчим CAPEX (інвестиційні витрати) на підкислення, ніж у центрі України;
- *яблучні та грушеві сади* (південь): Дубенський і Рівненський райони спеціалізуються на зерняткових культурах. Тут зосереджені господарства з інтенсивними технологіями та великими сховищами;
- *органічне виробництво*: Рівненщина є лідером за кількістю сертифікованих земель для дикоросів та органічних ягід (малина, ожина), що орієнтовані на ринок ЄС;
- *зрошення*: через піщану структуру ґрунтів на півночі 100% нових проєктів реалізуються з автоматизованим краплинним поливом;
- *виготовлення концентрованих соків і замороженої продукції* (гарантований збут продукції).

Інноваційно-інвестиційні бізнес-процеси малого агробізнесу та нішевих виробництв, упровадження яких сприяє рентабельності бізнесу:

- будівництво сучасних овочесховищ і холодильників безпосередньо в місцях виробництва;
- збільшення масштабів експортної логістики (заморожування лохини та малини для ринків Німеччини й Польщі, які мають тут найвищу інвестиційну привабливість);
- подання грантових заявок через диджитал-ресурси “Дія”, “eРобота” (грант “Свій сад”) як інструмент на “шляху до успіху”;
- надання коштів на закладання саду, інвестиції в ланцюг доданої вартості та стійкість бізнесу;
- придбання сонячних панелей для холодильників, автоматизація складської логістики;
- різні варіанти кредитних ліній;
- відшкодування відсотків за кредитами, витрати на сертифікацію органічного виробництва, кошти на зрошення та сховища, орієнтація на органічне виробництво та інші проєкти, які поєднуються з міжнародними програмами підтримки “зеленого” та нішевого агробізнесу.

Упровадження диджиталізації та інформатизації бізнес-процесів у малому фермерстві та нішевому виробництві відбувається через проєкти:

- *FAO* (Продовольча та сільськогосподарська організація ООН). FAO у 2026 році змістила фокус на підтримку ланцюжків доданої вартості в західних регіонах України. Гранти на обладнання для малих і середніх виробників (наприклад, невеликі пакувальні лінії, кооперація);

- *Німецько-Український фонд (GUF)*. Німеччина традиційно підтримує професійне навчання та технічне переозброєння. Пільгове фінансування на закупівлю саме європейської сільгосптехніки: тракторів, обприскувачів. Фонд часто фінансує навчальні поїздки для агрономів та обмін досвідом із німецькими фермерами (Know-how transfer);
- *фонди ЄС* (програма Horizon Europe). У 2026 році відкрилися можливості участі в екологічних програмах. Проєкти “Greening the sector” (використання біологічних методів захисту рослин, висадка лісосмуг тощо);
- *локальні агрокооперативні платформи*, через які люди інвестують невеликі суми в конкретні бізнеси, туризм у поєднанні зі збором ягід і дегустацією продукції. Для агропідприємства це не лише гроші, а й лояльна база споживачів.

Важливим елементом сучасного проєктного управління є використання цифрових інструментів на всіх етапах життєвого циклу проєктів диджиталізації агробізнесу. Аналіз і систематизація практичних інструментів дають змогу сформулювати рекомендації щодо інтеграції їх у систему управління бізнес-процесами в малому фермерстві та нішевому виробництві (табл. 2).

Використання CRM, ERP, бухгалтерських, аналітичних і хмарних систем забезпечує автоматизацію бізнес-процесів, зниження операційних витрат, підвищення продуктивності праці та поліпшення управлінських рішень на основі даних, що є ключовим фактором цифрової трансформації малого бізнесу та його конкурентоспроможності. Формування системи диджиталізації є вимогою часу та фундаментом технологічної стійкості проєктів розвитку в сучасному агробізнесі.

Отже, цифрова вертикаль проєкту перетворює розрізнені операційні процеси на єдину інтегровану систему управління, де дані стають головним інструментом ухвалення управлінських рішень. Це забезпечує перехід від інтуїтивного фермерства до точного та прогнозованого агробізнесу, що корелює з розробками вчених [12–15].

Реалізація проєктів у сфері садівництва сьогодні відбувається в умовах “ідеального шторму”: кліматичні аномалії поєднуються з дефіцитом енергоресурсів і критичною нестачею робочої сили. Це змушує ініціаторів проєктів переходити від екстенсивних методів (збільшення площ) до інтенсивних технологій, де кожен квадратний метр насаджень стає об’єктом точного цифрового управління. Сучасні тренди в агробізнесі формуються навколо концепції

Таблиця 2

**Інструменти управління бізнес-процесами  
в малому агробізнесі та нішевому виробництві**

| Інструменти                                        | Категорія                                          | Характеристика                                                                      | Сфери використання (приклади)                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trello, Slack та ін.                               | Прості та візуальні                                | Візуалізація поточних справ, комунікація та спільна робота                          | Управління щоденними операційними завданнями                                                                                                               |
| Jira, YouTrack                                     | Професійні                                         | Глибока аналітика та управління складними процесами                                 | Управління розробкою автоматизованих систем управління садом або складними ланцюгами поставок                                                              |
| Microsoft Project, GanttPRO                        | Корпоративні (EPM)                                 | Побудова критичного шляху та детальних діаграм Ганта                                | Візуалізація складних етапів підготовки ґрунту, будівництва тощо                                                                                           |
| EOSDA Crop Monitoring                              | Промислові (High-end)                              | Управління великими портфелями проєктів                                             | Використовується в агрохолдингах для координації проєктів у кількох областях одночасно                                                                     |
| Cascade, Strategy                                  | Стратегічне управління                             | Ув'язка стратегічних цілей з операційною діяльністю                                 | Відстеження зв'язку проєкту з цілями бізнесу, контроль рентабельності інвестицій                                                                           |
| Cropio, Climate FieldView                          | Системи моніторингу (Satellite/AI)                 | Дистанційний контроль стану насаджень через супутники                               | Моніторинг вегетації (індекс NDVI), прогноз врожайності                                                                                                    |
| Cropwise, Soft.Farm                                | Агрономічний софт                                  | Оперативний облік агрооперацій, складів і палива                                    | Ведення електронних карт полів, аналіз витрат на 1 га, контроль внесення добрив                                                                            |
| Power BI, Tableau                                  | Аналітичні інструменти                             | Візуалізація великих даних проєкту                                                  | Створення інтерактивних звітів для інвесторів про прогрес та ризики проєкту                                                                                |
| QuickBooks Xero, Zoho Books, Odoo SAP Business One | ERP-системи (SAP Business One, Microsoft Dynamics) | Управління ресурсами підприємства, комплексний облік фінансів, активів та персоналу | Контроль бюджету проєкту, облік амортизації саду як біологічного активу, розрахунок собівартості, автоматизація бухгалтерії, податків, рахунків, звітності |
| Traceability Systems                               | Системи відстеження                                | Відстеження шляху продукту "від саду до столу"                                      | Обов'язкова умова для експорту до ЄС, простежування кожної партії                                                                                          |
| Системи управління зрошенням                       | IoT-управління (Smart Irrigation)                  | Дистанційне керування поливом і фертигацією на основі даних датчиків                | Автоматизація подачі води та добрив; мінімізація людського фактора в критичні періоди вегетації                                                            |

Джерело: сформовано авторами.

Resilience (стійкості) — здатності проєкту зберігати рентабельність за будь-яких зовнішніх умов. Це досягається через глибоку інтеграцію інженерних рішень, біотехнологій і гнучких управлінських практик. Проєкт розвитку саду — це передусім інвестиція в інтелектуальну інфраструктуру, яка мінімізує вплив людського фактора та природних чинників.

Розглянемо детальніше ключові бізнес-процеси та елементи сучасної диджиталізації в малому агробізнесі:

1. *Системи зберігання та переробки.* Критичним стає впровадження технології DCA

(Dynamic Controlled Atmosphere), яка дає змогу знижувати рівень кисню до мінімально можливого, ґрунтуючись на флуоресценції хлорофілу плодів. Це продовжує термін зберігання яблук і груш до 12 місяців без втрати якості.

2. *Цифровізація та інтелектуальне управління.* Використання Digital Twins (цифрових двійників) саду. Це віртуальна модель плантації, куди надходять дані із сенсорів, метеостанцій і дронів. Вона дає змогу моделювати сценарії та ухвалювати рішення на основі AI-прогнозів. Упровадження автономних платформ для збору та безпілотних обприскувачів, що

мінімізує вплив дефіциту кадрів і забезпечує точність внесення препаратів.

3. *Гібридні методології управління* (Waterfall) використовуються для етапів із високою капіталомісткістю та жорсткими термінами (проектування, буріння свердловин, закупівля саджанців). Agile (Scrum/Kanban) застосовується для маркетингу, виходу на нові ринки та оперативного реагування на загрози.

4. *Енергетична та ресурсна автономність*. Циркулярна економіка, наприклад, будівництво накопичувальних басейнів для збору дощової та талої води, що є критичним для всіх регіонів під час літніх посух.

5. *Сертифікація та ESG-комплаєнс*. GlobalG.A.P. і GRASP — це вже конкурентна перевага на ринку. Система ведення бізнесу повинна охоплювати цифрове документування кожного кроку (від якості води та ґрунтів до умов праці персоналу), облік вуглецевого, водного й земельного слідів та можливість отримання додаткового доходу через продаж “вуглецевих кредитів”.

6. *Нішеві культури*. Зростає інтерес до фундука, волоського горіха, кизилу, обліпихи, декоративних рослин, лікарських рослин та їх переробки.

7. *Біологізація та точне землеробство*. Масовий перехід від хімічних фунгіцидів до біопрепаратів (ентомофаги, корисні гриби й бактерії). Використання дронів-ентомофагів для розселення корисних комах. Це критично для ESG-комплаєнсу та зниження “хімічного” навантаження на ґрунт.

8. *Вертикальна інтеграція та мобільна переробка*. Тренд — упровадження мобільних цехів переробки безпосередньо в саду (шокове заморожування, сублімація або виготовлення соків прямо на місці). Це дає змогу переробляти продукцію “другого сорту” миттєво, не витрачаючи кошти на логістику браку, і виходити на ринок із готовим продуктом.

9. *Спільне споживання та кооперативні платформи*. Оскільки техніка й софт дорогі, з'являється новий формат управління: RaaS (Robots as a Service) — оренда автономних збиральних платформ або дронів на сезон. Це дає змогу малому та середньому бізнесу використовувати топові технології без величезних інвестицій, розподіляючи витрати між учасниками кластера.

10. *Регенеративне садівництво*. Це наступний рівень після “органіки”, що фокусується не лише на відсутності хімії, а й на відновленні ресурсів. Використання покривних культур (залуження міжрядь спеціальними сумішами трав) для запобігання ерозії, утримання вологи та відновлення біорізноманіття ґрунту. Проекти,

що демонструють поліпшення стану ґрунту, отримують доступ до нижчих відсоткових ставок за “зеленими” кредитами та преміальних контрактів від глобальних брендів.

11. *Смартупаковка та Active Packaging*. Проблема зберігання вирішується не лише в камері, а й на етапі пакування. Упровадження упаковок з абсорбентами етилену або мікроперфорацією, що контролює дихання ягоди всередині контейнера. Це дає змогу транспортувати свіжу малину чи лошину на довші дистанції (наприклад, морем замість авіа), що радикально знижує логістичні витрати.

12. *Роботизований скаутинг та AI-детекція хвороб*. Перехід від візуального огляду агрономом до автоматичного моніторингу. Встановлення на трактори або автономні платформи камер із комп'ютерним зором, які під час кожного проїзду міжряддям автоматично ідентифікують ознаки хвороб або дефіциту мікроелементів на кожному окремому дереві. Точкове лікування окремих дерев замість суцільного обприскування всього саду.

13. *Диверсифікація через Agrotourism & Experience Economy*. Проект розвитку саду перестав бути суто сировинним. Проектування саду з урахуванням рекреаційної зони (моделі Self-pick — самозбір), створення локацій для промислового туризму та дегустацій. Це дає змогу створити прямий канал збуту B2C з найвищою маржинальністю та розбудувати лояльну спільноту навколо бренду.

14. *Гідропоніка та багатоярусні сади* (у нішевих культурах). Експерименти з вирощуванням суниць та деяких видів ягід у закритому ґрунті, використання вертикальних ферм або лотків на підвісних системах для малини та полуниці. Це дає контроль над кліматом, відсутність ґрунтових хвороб і можливість збирання врожаю незалежно від погоди.

## ВИСНОВКИ

Отже, сучасні тенденції в садівництві, тепличному господарстві, кооперації, малому агробізнесі свідчать про завершення ери екстенсивного розвитку та перехід до моделі інтелектуального й диджиталізованого агробізнесу на засадах бізнес-процесного управління. Створення “цифрових двійників” саду та використання штучного інтелекту для прогнозування врожайності дають змогу змінити підхід до управління ризиками з реактивного на проактивний. Роботизація збирання та точне внесення препаратів дронами не лише нівелюють гострий дефіцит робочої сили, а й забезпечують ювелірну точність технологічних операцій, що безпосередньо впливає на зниження собівартості продукції та її екологічну чистоту.

Перспективи розвитку малого агробізнесу в Україні пов'язані з ESG-стандартами та глобальним моніторингом. Вимоги європейського ринку щодо вуглецевого сліду та нульового залишку пестицидів роблять сертифікацію GlobalG.A.P. та цифрові паспорти продукції обов'язковими елементами проєктної діяльності. Генетична модернізація через використання безвірусного матеріалу та вибір імуностійких сортів закладає фундамент довгострокової стійкості багаторічних насаджень на 15–20 років вперед.

Таким чином, успішний бізнес — це гнучка екосистема, де біологічні активи захищені високими технологіями, а фінансова стійкість базується на диверсифікації джерел фінансування та енергетичній незалежності. Вживан-

ня малих і нішевих форм агробізнесу можна забезпечити через ефективні ринкові зв'язки, які збільшують можливості для створення доданої вартості; інтеграцію агрономічної майстерності із цифровою прозорістю; створення продукції з високою доданою вартістю, що відповідає сучасним запитам споживача. Цифрова трансформація перестала бути лише елементом престижу, перетворившись на інструмент виживання бізнесу. Крім того, підходи, які ґрунтуються на ланцюжку створення вартості, є доцільними для розвитку сільськогосподарських систем, оскільки вони мають важливий вплив на фермерів, переробників, оптових і роздрібних торговців, споживачів, а також на зовнішні організації, що забезпечують процес розвитку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шабатура, Т. С. (2019). Формування економічного потенціалу підприємств у контексті комплементарного підходу. *Інфраструктура ринку*, 29, 317–322. Взято з [https://www.market-infr.od.ua/journals/2019/29\\_2019\\_ukr/51.pdf](https://www.market-infr.od.ua/journals/2019/29_2019_ukr/51.pdf)
2. Rapsomanikis, G. (2015). *The economic lives of smallholder farmers: An analysis based on household data from nine countries*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5251e>
3. Hintz, K. S., & Pretzsch, J. (2023). Co-creation of business models for smallholder forest farmers' organizations: Lessons learned from rural Ethiopia and Tanzania. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 94(3), 921–949. doi: 10.1111/apce.12413
4. Salali, H. E., Akyüz, Y., Atakan, P., Günden, C., & Yercan, M. (2024). A review of guidelines on agri-food value chain modeling. In K. Mattas, G. Baourakis, C. Zopounidis, & C. Staboulis (Eds.), *Value chain dynamics in a biodiverse environment* (pp. 107–127). Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-031-49845-9\_6
5. Lowder, S. K., Sánchez, M. V., & Bertini, R. (2021). Which farms feed the world and has farmland become more concentrated? *World Development*, 142, 105455. doi: 10.1016/j.worlddev.2021.105455
6. Tomorri, I., Keco, R., & Tomorri, K. (2022). Evaluating the impact of small farmer's inclusion in agricultural value chain for sustainable rural development in Albania. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 4(2), 86–94. doi: 10.24018/ejfood.2022.4.2.483
7. Беженар, І. М., & Грищенко, О. Ю. (2023). Фермерські господарства в Україні: стан та перспективи розвитку. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління*, 9, 168–171. doi: 10.54929/2786-5738-2023-9-04-14
8. Спаський, Г. В. (2019). Розвиток сімейних фермерських господарств в Україні та зарубіжний досвід їх функціонування. *Економіка АПК*, 7, 73–82. doi: 10.32317/2221-1055.201907073
9. Widadie, F., Bijman, J., & Trienekens, J. (2022). Alignment between vertical and horizontal coordination for food quality and safety in Indonesian vegetable chains. *Agricultural and Food Economics*, 10, 8. doi: 10.1186/s40100-022-00215-w
10. Демчук, О. І., & Русин-Гриник, Р. Р. (2024). Сучасний рівень діджиталізації бізнес-процесів агропідприємств. *Економіка та суспільство*, 61. doi: 10.32782/2524-0072/2024-61-143
11. Мазур, Г. (2022). Кластеризація в управлінні економічною безпекою регіону в умовах воєнного стану. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія “Екологія. Публічне управління та адміністрування”*, (2), 47–54. doi: 10.32782/2786-5681-2022-2.06
12. Куцук, П., Семів, С., Полякова, Ю., & Шевчик, Б. (2023). Стан, проблеми та пріоритети розвитку аграрної кооперації в Україні в контексті викликів сучасності. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики*, 1(48), 282–297. doi: 10.55643/fcaptr.1.48.2023.3956
13. Лупенко, Ю. О., Малік, М. Й., Шпикуляк, О. Г., Мамчур, В. А., & Корінець, Р. Я. (2021). *Концепція розвитку сімейних фермерських господарств на період до 2030 року*. Київ: ННЦ “ІАЕ”.
14. Красноручський, О. О. (2023). Ефективне використання бренду крафтового продукту аграрного підприємства. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 8(2), 10–15. Взято з [http://ujae.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/ujae\\_2023\\_r02\\_a01.pdf](http://ujae.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/ujae_2023_r02_a01.pdf)
15. Шуст, О. А., Варченко, О. М., Крисанов, Д. Ф., Артимонова, І. В., Варченко, О. О., Вернюк, Н. О., ... Ткаченко, К. В. (2023). *Аграрні та агропродовольчі структури в умовах посилення турбулентності: монографія* (О. А. Шуст, Ред.). Київ: ТОВ “ТРОПЕА”. Взято з <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/9743>

## DIGITALIZATION AND KEY BUSINESS PROCESSES OF SMALL AGRICULTURAL ENTERPRISES IN AGRIBUSINESS

**Skrypchuk P.**

Doctor of Economics, Professor

National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine)  
e-mail: petroskrypchuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2835-4711>

**Frolenkova N.**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine)  
e-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4553-9547>

**Chata R.**

Postgraduate Student

National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine)  
e-mail: korec-sad@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-8207-9320>

**Lohvyn S.**

Postgraduate Student

National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine)  
e-mail: syu.logvyn@nuwm.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6639-6347>

*The article substantiates prospects for the development of small forms of agribusiness in Ukraine, which are related to innovative and investment business processes, digitalization of management, and the demands of the global economy in the context of Ukraine's European integration. It also proposes tools and innovations for agribusiness management, including sustainable enterprise reporting, digitalization of management systems, theory and practice regarding various types of environmental footprints, and GlobalG.A.P. certification. Innovative and investment-related business processes for small-scale business entities and niche producers aimed at improving business profitability include: construction of modern vegetable storage facilities and refrigeration facilities directly at production sites; expanding the scale of export logistics; submitting grant applications through the digital platforms "Diia" and "eRobota"; purchasing solar panels for refrigeration facilities; automating warehouse logistics; various credit line options. It has been established that agribusiness is transforming from traditional production into an export-oriented technological sector through innovative and investment-related business processes of small and medium-sized enterprises and niche producers aimed at improving business profitability. Key trends and elements of modern horticulture intended for implementation have been identified: storage and processing systems; digitalization and intelligent management; hybrid management methodologies; energy and resource autonomy; certification and ESG compliance; niche crops; biological approaches and precision farming; vertical integration and mobile processing, among others. It has been proven that modern trends in horticulture indicate the end of the era of extensive development and the transition to a model of intelligent and digitized agribusiness based on business process management. Nowadays, a successful business is a hybrid ecosystem where biological assets are protected by advanced technologies, and financial stability is based on the diversification of funding sources and energy independence. Digital transformation is no longer just a matter of prestige, but rather a tool for business survival.*

**Keywords:** innovation and investment management, tools, water and land footprints, grants.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**СКРИПЧУК Петро Михайлович** — доктор економічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33000; e-mail: petroskrypchuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2835-4711>).

**ФРОЛЕНКОВА Надія Анатоліївна** — кандидат економічних наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33000; e-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4553-9547>).

**ЧАТА Руслан Віталійович** — аспірант, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33000; e-mail: korec-sad@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-8207-9320>).

**ЛОГВИН Сергій Юрійович** — аспірант, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33000; e-mail: syu.logvyn@nuwm.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6639-6347>).

## СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЯК ОСНОВА ІНТЕГРАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА КОРПОРАТИВНИХ ІННОВАЦІЙ

**Л. В. Головань**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

e-mail: GolovanLarisa14@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7630-3222>

**І. В. Клименко**

кандидат сільськогосподарських наук

Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

e-mail: klymenkoigor1984@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3014-1694>

**Ю. Ю. Чуприна**

доктор філософії з екології, доцент

Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

e-mail: 380507057016@btu.kharkov.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0294-131X>

**О. В. Коляда**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

e-mail: olyakolyadapovh@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3727-5492>

У статті досліджено стратегії сталого розвитку як ключову основу інтеграції екологічної відповідальності й корпоративних інновацій у діяльність сучасних підприємств в умовах трансформації глобальної економіки та посилення екологічних викликів. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переходу бізнесу до моделей функціонування, орієнтованих на принципи “зеленої” економіки, ресурсоефективності та довгострокової конкурентоспроможності. Методологічною основою дослідження є сукупність загальнонаукових і спеціальних методів пізнання, зокрема аналіз і синтез, системний і структурно-функціональний підходи, порівняльний аналіз, узагальнення наукових джерел, а також логіко-аналітичні методи. У результаті проведеного аналізу встановлено, що комплексна інтеграція екологічної відповідальності та корпоративних інновацій у стратегії сталого розвитку підприємств забезпечує системне підвищення ефективності використання ресурсів, зокрема матеріальних, енергетичних і фінансових, а також сприяє оптимізації виробничих процесів і зниженню операційних витрат. Водночас упровадження “зелених” інновацій сприяє зростанню інвестиційної привабливості компаній, формуванню довгострокових конкурентних переваг і зміцненню корпоративного капіталу. Доведено, що інтеграція екологічних ініціатив позитивно впливає на соціальний аспект діяльності підприємств, зокрема підвищує залученість і лояльність персоналу, сприяє формуванню позитивного іміджу компанії серед споживачів і стейкхолдерів, а також стимулює активну взаємодію з громадськими й регуляторними структурами. Методичний підхід до оцінювання ефективності інтеграції екологічної відповідальності та корпоративних інновацій дає змогу кількісно визначати вплив “зелених” практик на економічні, соціальні та екологічні показники підприємств, що робить його придатним для використання в процесах стратегічного планування, управління корпоративними ресурсами й прийняття рішень щодо розвитку інноваційних екологічних проектів. Такий підхід створює підґрунтя для формування системно збалансованих корпоративних стратегій, які поєднують економічну ефективність із принципами сталого розвитку та “зеленої” економіки.

**Ключові слова:** “зелена” економіка, “зелені” інновації, корпоративна соціальна відповідальність (CSR), ESG-підходи, екологічний менеджмент, стратегічне управління.

### ВСТУП

У сучасних умовах глобалізаційних процесів, швидкого технологічного розвитку та інтенсифікації виробничої діяльності питання сталого розвитку підприємств набуває особли-

вого значення. Сталий розвиток розглядають як комплексну стратегію, що поєднує економічну ефективність із соціальною відповідальністю та екологічною безпекою [1]. Проблема інтеграції екологічної відповідальності в корпоративні

стратегії стала предметом активного дослідження у світовій науковій літературі, оскільки ефективне управління екологічними ризиками не лише зменшує негативний вплив на довкілля, а й забезпечує додаткову конкурентну перевагу для підприємств через упровадження інноваційних бізнес-моделей і “зелених” технологій [1].

Сучасні дослідження свідчать про прямий зв'язок між екологічною відповідальністю та стратегічним розвитком підприємств. Наприклад, у роботі Т. Т. Le підкреслено, що сталий розвиток не може бути досягнутий без інтеграції екологічних принципів у корпоративне управління та стратегічне планування [2]. Х. Ао, Т. S. Ong і В. Н. Teh відзначають, що, попри широке впровадження концепцій сталого розвитку, більшість підприємств не мають системного підходу до поєднання екологічної відповідальності та корпоративних інновацій, що обмежує ефективність таких стратегій [3].

Водночас глобальні економічні тенденції, зростання вимог до екологічної прозорості та вплив міжнародних стандартів (ISO 14001, GRI, ESG) зумовлюють необхідність переходу підприємств до більш інтегрованих моделей управління, у яких екологічна відповідальність стає частиною стратегічної політики. Незважаючи на це, у науковій літературі недостатньо досліджено конкретні механізми інтеграції екологічної відповідальності з корпоративними інноваціями, особливо в контексті досягнення довгострокової стійкості та конкурентоспроможності підприємств різних секторів економіки.

Окремі аспекти, які залишаються невирішеними, охоплюють підходи, що поєднують стратегічне планування та екологічні інновації, методи оцінки ефективності “зелених” інновацій у стратегічних рішеннях, а також вплив корпоративної екологічної відповідальності на соціальні й економічні результати діяльності підприємств.

Отже, наукова проблема полягає у визначенні принципів і механізмів інтеграції екологічної відповідальності та корпоративних інновацій у стратегії сталого розвитку підприємств, що дає змогу досягти збалансованого поєднання економічних, соціальних та екологічних результатів, забезпечуючи їхню довгострокову конкурентоспроможність.

**Мета дослідження** — виявити ключові підходи до інтеграції екологічної відповідальності в стратегії сталого розвитку, охарактеризувати основні механізми та інструменти корпоративних “зелених” інновацій, а також з'ясувати роль інтеграції в забезпеченні довгострокової конкурентоспроможності підприємств.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Упродовж останніх років у світовій науковій літературі спостерігається значне зростання зацікавленості в проблематиці екологічної відповідальності підприємств та її взаємозв'язку з корпоративними інноваціями в межах стратегії сталого розвитку [4–6]. Аналіз публікацій останніх п'яти років демонструє, що глобальні дослідницькі тенденції дедалі більше акцентують увагу на комплексному розгляді інтегральних показників сучасної корпоративної політики.

Зокрема, у провідних міжнародних виданнях дедалі частіше трапляються дослідження, присвячені впливу корпоративної соціальної та екологічної відповідальності на розвиток “зелених” технологій та інновацій [7; 8]. Так, проведений аналіз узагальнив дані кількох десятків емпіричних досліджень і виявив стійкий позитивний зв'язок між практиками соціальної відповідальності та рівнем запровадження “зелених” інновацій у різних секторах економіки, незалежно від галузевих особливостей [9]. Інші міжнародні дослідження підтверджують, що діяльність із упровадження екологічної відповідальності опосередковано впливає на соціальну результативність підприємств через посередництво “зелених” інновацій і корпоративного іміджу [10].

У контексті теоретичного осмислення ролі корпоративної відповідальності за умов упровадження концепції сталого розвитку бізнесу окремі праці науковців показують, що стратегічні підходи до “зеленої” трансформації підприємств посилюють їхню інноваційну спроможність і соціально-економічні показники, зокрема у виробничому секторі [8; 11; 12]. Інше дослідження зосереджує увагу на нелінійних моделях впливу екологічної відповідальності на технологічні інновації, що вказує на складність і неоднорідність цього взаємозв'язку [9].

Деякі міжнародні публікації вказують на важливу роль зацікавлених сторін у реалізації стратегії сталого розвитку через механізми CSR та “зелені” технології. Так, дослідження М. А. Mithani підкреслює, що активна взаємодія з різними групами стейкхолдерів посилює вплив CSR-ініціатив на технологічні інновації та загальні результати сталого розвитку [10].

Вітчизняні наукові роботи останніх років також значною мірою зосереджені на питаннях соціально-екологічної відповідальності та запровадження концепції сталого розвитку бізнесу. Аналіз сучасних аспектів корпоративної соціальної відповідальності засвідчує її важливість для міжсекторального економічного зростання, поліпшення інвестиційного кліма-

ту та конкурентоспроможності підприємств у міжнародному середовищі [4]. Інша вітчизняна публікація наголошує на необхідності імплементації стратегій соціальної відповідальності в корпоративні моделі функціонування в умовах глобальної трансформації економіки [1].

Українські дослідники спрямовують свої дослідження на вивчення економічних переваг, які виникають під час упровадження механізмів управління сталим розвитком на підприємствах. Ці механізми охоплюють питання управління сталим розвитком, у тому числі його екологічну складову та формування нових стратегій розвитку підприємства. Дослідження ефективності екологічних інновацій у різних галузях в Україні, зокрема в готельному секторі, демонструє практичне значення “зелених” технологій для підвищення екологічної відповідальності та конкурентних позицій підприємств на ринку.

Водночас, незважаючи на значну кількість досліджень, залишається низка невирішених питань. Зокрема, у науковій літературі недостатньо розроблено кількісні моделі оцінювання ефективності стратегій інтеграції екологічної відповідальності та корпоративних інновацій, особливо в контексті малих і середніх підприємств; недостатньо узагальнено міжнародний досвід адаптації цих моделей до вітчизняних реалій; відсутні комплексні емпіричні дослідження, що охоплюють різні галузі економіки й забезпечують порівняльний аналіз.

Отже, сучасний науковий дискурс підтверджує актуальність і мультидисциплінарність проблеми, що потребує подальшого аналізу як теоретичних моделей, так і практичних рекомендацій щодо реалізації стратегій сталого розвитку в умовах глобальних екологічних та економічних викликів.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Теоретичною та методологічною основою дослідження є загальнотеоретичні методи наукового пізнання, сучасні концепції управління підприємствами, фундаментальні положення економіки природокористування і сталого розвитку, а також праці вітчизняних і зарубіжних авторів з питань корпоративної соціальної відповідальності, “зелених” інновацій та стратегій сталого розвитку [13].

Дослідження базується на загальнонаукових методах пізнання, що дають змогу комплексно оцінити взаємозв'язок між стратегічними підходами сталого розвитку й екологічною відповідальністю підприємств. Зокрема, використовували такі методи: порівняльний аналіз — для систематизації наявних теоретичних концепцій корпоративної соціальної та екологічної відпо-

відальності, а також для ідентифікації основних чинників формування “зелених” інновацій у бізнес-практиках; аналіз — для зіставлення міжнародних і вітчизняних моделей інтеграції екологічної відповідальності в стратегії сталого розвитку підприємств, включно з практиками ESG, ISO 14001 та GRI [6]; метод прогнозування — для оцінки потенційного впливу стратегій сталого розвитку на інноваційну активність підприємств та екологічні показники, із використанням публікацій міжнародних організацій [4; 8]; метод наукового узагальнення — для дослідження практичних прикладів реалізації стратегій сталого розвитку на підприємствах різних галузей і для формування рекомендацій щодо оптимізації інтеграційних підходів [5; 11].

Такий підхід забезпечив системне і багатовимірне дослідження проблеми, що поєднує теоретичний аналіз і практичну оцінку реалізації корпоративних стратегій сталого розвитку з урахуванням екологічного та економічного контексту.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ступінь усвідомлення підприємствами значення екологічної відповідальності та її інтеграції в корпоративні стратегії сталого розвитку безпосередньо визначає ефективність управлінських рішень, здатність організацій упроваджувати інноваційні “зелені” практики та оптимізувати використання ресурсів. В умовах глобальної економічної трансформації, зростання екологічних ризиків і посилення регуляторних вимог екологічна відповідальність стає не лише елементом іміджу підприємства, а й стратегічним інструментом забезпечення довгострокової конкурентоспроможності. Компанії, які системно інтегрують екологічні ініціативи в корпоративну стратегію розвитку підприємства, демонструють підвищену адаптивність до змін зовнішнього середовища, здатність до швидкого впровадження інновацій і збільшення ефективності ресурсовикористання, що, своєю чергою, сприяє підвищенню фінансових і соціальних показників [6].

На сьогодні в науковій літературі існує відчутний прогрес у вивченні впливу стратегічних рішень на розвиток екологічної відповідальності підприємств, проте більшість досліджень залишаються фрагментарними і зосереджені на окремих аспектах. Зокрема, не завжди достатньо враховують комплексну взаємодію між корпоративними інноваціями, екологічними ініціативами та економічними показниками діяльності підприємств. Більшість робіт фокусуються або на фінансовій результатив-

ності, або на екологічних ефектах, залишаючи поза увагою взаємозв'язки між ними, що є критичним для розробки системних стратегій сталого розвитку [13].

Практична реалізація “зеленої” трансформації в різних галузях економіки демонструє значні розбіжності, які зумовлені не лише галузевими й технологічними особливостями, а й рівнем розвитку корпоративної культури, наявністю фінансових ресурсів і ступенем регуляторного впливу. Це підкреслює необхідність системного підходу до оцінки ефективності інтеграції екологічної відповідальності, що передбачає одночасне врахування стратегічних, організаційних, фінансових та екологічних аспектів. Такий підхід дає змогу не лише виявити ключові чинники успіху запровадження “зелених” інновацій, а й розробити науково обґрунтовані рекомендації для формування корпоративних стратегій сталого розвитку, які забезпечують баланс між економічними, соціальними та екологічними цілями організацій.

Дослідження засвідчило, що корпоративна екологічна відповідальність є одним із ключових факторів стимулювання впровадження “зелених” інновацій. Виявлено, що підприємства, які системно інтегрують екологічні цілі у свої стратегії, демонструють підвищену здатність до інноваційної діяльності та більш активне впровадження ресурсоефективних технологій. Це підтверджує закономірність, що екологічна відповідальність не лише зменшує негативний вплив на навколишнє середовище, а й створює сприятливі умови для розвитку технологічних та організаційних інновацій. Зокрема, підприємства, які впроваджують програми корпоративної соціальної відповідальності (CSR), частіше реалізують екологічні інновації, що підвищує їхню конкурентоспроможність і рівень довіри з боку стейкхолдерів [3].

Так, економічні ефекти впровадження стратегій сталого розвитку та корпоративної екологічної відповідальності проявляються в багатьох аспектах функціонування підприємств. По-перше, спостерігається зростання ефективності використання ресурсів, що забезпечується завдяки оптимізації виробничих процесів, упровадженню енерго- та матеріалозберігаючих технологій, а також скороченню втрат сировини й палива. По-друге, інтеграція “зелених” інновацій сприяє зниженню операційних витрат, зокрема витрат на енергію, воду та утилізацію відходів, що позитивно позначається на фінансових показниках підприємства. По-третє, стратегічне дотримання принципів сталого розвитку підвищує інвестиційну привабливість компанії, оскільки інвестори й фінансові установи дедалі частіше враховують ESG-критерії при оціню-

ванні ризиків, що дає змогу залучати додаткові фінансові ресурси для розвитку бізнесу [14].

Соціальні ефекти впровадження корпоративної екологічної відповідальності проявляються у формуванні стійких взаємовідносин із зацікавленими сторонами, а також у підвищенні соціальної відповідальності бізнесу. Зокрема, підвищується лояльність співробітників, оскільки участь у “зелених” програмах та ініціативах покращує робочі умови й корпоративну культуру. Аналогічно, зростає довіра та прихильність споживачів, які віддають перевагу компаніям із відповідальним ставленням до довкілля. Важливим аспектом є також активізація взаємодії зі стейкхолдерами, зокрема з державними органами, територіальними громадами та партнерами, що сприяє більш прозорому процесу ухвалення рішень, поліпшенню корпоративного іміджу та зміцненню репутаційних позицій на ринку [2].

Екологічні ефекти безпосередньо пов'язані зі зниженням негативного впливу підприємств на навколишнє середовище. До ключових результатів належить, по-перше, зменшення викидів шкідливих речовин, включно з парниковими газами й токсичними сполуками, що відбувається завдяки модернізації обладнання та впровадженню екологічно чистих технологій. По-друге, упровадження ресурсозберігаючих технологій дає змогу більш ефективно використовувати енергетичні й матеріальні ресурси, мінімізуючи відходи та скорочуючи навантаження на природні екосистеми. Крім того, розвиток “зеленої” інфраструктури підприємства — наприклад, систем управління відходами, очищення стічних вод, використання відновлюваних джерел енергії та “екологічних” будівельних рішень — сприяє формуванню стійкої й відповідальної моделі корпоративного управління, що відповідає принципам сталого розвитку [13].

Загалом економічні, соціальні й екологічні ефекти утворюють синергію зв'язків, яка підвищує загальну стійкість і конкурентоспроможність підприємства. Інтеграція цих ефектів у стратегічне планування дає змогу формувати системну модель корпоративної діяльності, що забезпечує одночасне досягнення фінансових результатів і довгострокового екологічного й соціального ефектів.

Дослідження також виявило особливості застосування різних інструментів управління сталим розвитком у різних секторах економіки. Так, інструменти корпоративної соціальної відповідальності (CSR) активно використовують у сфері виробництва та послуг, де вони виконують комплексну функцію стратегічного управління корпоративною культурою та комунікації з громадськістю. Упровадження CSR-

програм дає змогу підприємствам формувати цінності, орієнтовані на сталий розвиток, підвищувати мотивацію та залученість персоналу, а також створювати прозору систему взаємодії зі стейкхолдерами. Крім того, CSR-ініціативи сприяють розширенню соціальних партнерств і підвищенню рівня довіри споживачів, що безпосередньо впливає на репутацію компанії та її конкурентні позиції на ринку [6]. У виробничому секторі CSR-програми часто охоплюють екологічні практики, зокрема, такі як зменшення обсягів відходів, енергоефективні заходи, що дає змогу поєднувати соціальні й екологічні результати.

ESG-підходи (екологічні, соціальні й управлінські критерії) знайшли найбільше застосування у фінансовому секторі, а також у діяльності великих корпорацій, які оперують на міжнародних ринках. ESG-критерії дають змогу системно оцінювати ефективність діяльності компаній за трьома взаємопов'язаними напрямками, що забезпечує комплексний підхід до управління ризиками та ресурсами. В умовах посиленої уваги інвесторів до компаній, які демонструють високий ESG-рейтинг, останні отримують доступ до більш вигідного фінансування та кращих умов страхування, підвищують свою інвестиційну привабливість. Крім того, застосування ESG-інструментів стимулює впровадження інноваційних екологічних рішень, ефективних соціальних програм і вдосконалення систем корпоративного управління, що підвищує загальну стійкість організацій [12]. Стандарти ISO 14001 здебільшого впроваджуються на промислових підприємствах і є формалізованим інструментом екологічного управління. Вони дають змогу компаніям систематизувати екологічну політику, оптимізувати виробничі процеси та забезпечити відповідність міжнародним вимогам у сфері охорони навколишнього середовища. ISO 14001 сприяє впровадженню механізмів моніторингу та контролю за використанням енергетичних і матеріальних ресурсів, зниженням обсягів відходів і шкідливих викидів, а також забезпечує постійне поліпшення екологічних показників підприємства. У підсумку стандартизація процесів за ISO 14001 не лише підвищує ефективність екологічного менеджменту, а й створює системні передумови для інтеграції “зелених” інновацій у виробничі та управлінські практики [1]. Застосування CSR, ESG і ISO 14001 має синергійний ефект: соціальні та екологічні ініціативи сприяють економічній ефективності, поліпшують корпоративний імідж і стимулюють упровадження інновацій, що разом формує стійку й конкурентоспроможну модель корпоративного розвитку в умовах “зеленої” економіки.

Виявлено тісний взаємозв'язок між зовнішніми чинниками та внутрішніми корпоративними рішеннями щодо “зеленої” трансформації. Зовнішні чинники охоплюють регуляторні вимоги держави, екологічні стандарти, очікування інвесторів і вимоги суспільства щодо прозорості та соціальної відповідальності. Підприємства, які активно реагують на ці фактори, інтегрують екологічні й соціальні критерії у свої стратегії, що стимулює розвиток інноваційних технологій та ефективних управлінських практик. Наприклад, посилення вимог ESG або введення нових екологічних стандартів часто спричинює впровадження енергоефективних технологій, модернізацію виробничих процесів та оптимізацію управління відходами.

Внутрішні корпоративні рішення, своєю чергою, визначають ступінь реалізації потенціалу “зеленої” трансформації. До таких рішень належать: визначення екологічних пріоритетів, інвестування в “зелені” технології, розвиток корпоративної культури сталого розвитку та формування мотиваційних механізмів для персоналу. Поєднання внутрішніх ініціатив із реагуванням на зовнішні стимули створює синергетичний ефект, який підвищує здатність підприємства до інновацій, поліпшує показники екологічної відповідальності та сприяє зміцненню конкурентних позицій на ринку.

Для комплексного розуміння ефективності інтеграції екологічної відповідальності в стратегії сталого розвитку проведено порівняльний аналіз підприємств різних галузей і регіональної локалізації. Результати свідчать, що ступінь упровадження “зелених” інновацій та екологічних ініціатив значною мірою залежить від специфіки галузі й ресурсного потенціалу організацій. Зокрема, промислові підприємства демонструють високий рівень формалізації екологічних процесів завдяки впровадженню стандартів ISO 14001 та інтегрованих систем управління охороною навколишнього середовища, що дає їм змогу системно планувати, контролювати й оптимізувати екологічні показники виробництва. Упровадження таких стандартів забезпечує структуровану організацію екологічної діяльності, формалізацію процедур моніторингу викидів, утилізації відходів і використання енергетичних та матеріальних ресурсів. У підсумку підприємства досягають помітних економічних ефектів: скорочуються операційні витрати на енергоспоживання і сировину, зменшуються витрати на утилізацію та очищення відходів, підвищується продуктивність виробничих процесів, що безпосередньо впливає на фінансову стійкість і конкурентоспроможність компанії. Екологічні результати також є суттєвими. Зокрема, упровадження ресурсозберігаючих й енергоефек-

тивних технологій сприяє зниженню обсягів шкідливих викидів в атмосферу, скороченню водоспоживання та зменшенню екологічного навантаження на локальні екосистеми. Крім того, використання сучасних систем управління дає змогу формувати “зелену” інфраструктуру підприємства, зокрема системи очищення стічних вод, утилізації промислових відходів і застосування відновлюваних джерел енергії.

Водночас соціальні ефекти на промислових підприємствах проявляються менш інтенсивно порівняно з підприємствами сфери послуг. Залученість персоналу до екологічних програм часто є обмеженою через вузьку орієнтацію на технічні й виробничі процеси, а комунікація зі стейкхолдерами та громадськістю формується переважно у формалізованих рамках внутрішніх політик і звітності. Це створює певну диспропорцію між високими економічними й екологічними результатами та порівняно низьким рівнем соціальних ефектів, що відображає необхідність комплексного підходу, який би поєднував управління екологічною складовою з активною соціальною взаємодією та розвитком корпоративної культури сталого розвитку.

Отже, промислові підприємства досягають значних вигод в економічній та екологічній площинах, але для повноцінного інтегрування принципів сталого розвитку необхідне посилення соціальних компонентів корпоративної стратегії, що дасть змогу забезпечити синергію економічних, екологічних і соціальних ефектів і підвищити загальну стійкість організації.

У сфері послуг і фінансів інтеграція ESG-критеріїв і CSR-програм демонструє високу ефективність у формуванні корпоративної репутації, зміцненні довіри клієнтів і підвищенні їхньої лояльності. Упровадження таких стратегій дає змогу підприємствам системно оцінювати та контролювати свої екологічні, соціальні й управлінські практики, що забезпечує прозорість їхньої діяльності та підвищує рівень довіри з боку стейкхолдерів. У цих секторах соціальні ефекти набувають особливої значущості, адже імідж компанії та її відповідальність перед суспільством безпосередньо впливають на рішення споживачів щодо вибору послуг і продуктів.

Економічні вигоди інтеграції ESG і CSR проявляються багаторівнево. По-перше, підприємства оптимізують внутрішні ресурси, зокрема енергію, матеріали та операційні витрати, що сприяє підвищенню фінансової ефективності. По-друге, стратегічна орієнтація на сталий розвиток і прозорість у звітності підвищує інвестиційну привабливість компаній: інвестори, оцінюючи ризики та потенціал доходності, дедалі частіше враховують екологічні й соціальні

показники поряд із фінансовими. По-третє, ESG і CSR сприяють розширенню клієнтської бази та утриманню лояльних клієнтів, що створює прямий зв'язок між екологічною відповідальністю й фінансовими результатами компанії, підвищуючи її конкурентні позиції на ринку.

Водночас промислові та виробничі аспекти “зелених” інновацій у сфері послуг і фінансів реалізуються менш інтенсивно, оскільки специфіка технологічних процесів у цих секторах не потребує масштабної модернізації обладнання чи впровадження складних енергозберігаючих технологій. Відповідно, основний фокус спрямований на організаційні, управлінські та соціальні компоненти сталого розвитку, охоплюючи ефективне управління корпоративними процесами, підвищення кваліфікації персоналу, розвиток цифрових інструментів для моніторингу ESG-показників та інтеграцію “зелених” стандартів у фінансові продукти й послуги.

Отже, інтеграція ESG і CSR у сфері послуг і фінансів створює системний комплекс економічних, соціальних і репутаційних ефектів, що забезпечує стійкий розвиток підприємств та їхню здатність до інновацій. При цьому ці сектори демонструють відмінну модель “м'якої” інтеграції екологічної відповідальності, де соціальні та управлінські компоненти стають визначальними для досягнення стратегічних цілей сталого розвитку.

Аналіз підприємств різного масштабу показав, що розмір організації суттєво впливає на можливості та ефективність упровадження екологічних ініціатив і “зелених” інновацій. Великі корпорації мають значні фінансові, кадрові й технологічні ресурси, що дає змогу їм системно планувати та реалізовувати комплексні екологічні програми на рівні всіх підрозділів. Це охоплює розробку внутрішніх екологічних політик, упровадження стандартів ISO 14001, інтеграцію ESG-принципів у корпоративну стратегію та інвестиції в інноваційні технології, які спрямовані на скорочення викидів, зниження енергоспоживання і підвищення ресурсоефективності. Завдяки такому комплексному підходу великі корпорації досягають одночасного поєднання економічних, соціальних та екологічних ефектів, що забезпечує їхню довгострокову стійкість і конкурентоспроможність. Натомість середні та малі підприємства зазвичай стикаються з обмеженнями у фінансових і кадрових ресурсах, що зумовлює необхідність пріоритизації конкретних екологічних заходів. Вони частіше застосовують вибіркові ініціативи, спрямовані на економію енергії, мінімізацію відходів або впровадження окремих “зелених” процесів, замість повної інтеграції екологічної відповідальності в корпоративну стратегію. Такий

підхід дає змогу отримати часткові економічні та соціальні вигоди, наприклад, зменшення операційних витрат чи підвищення локальної репутації серед клієнтів і партнерів. Проте це не завжди забезпечує системну реалізацію принципів сталого розвитку, оскільки внутрішні процеси залишаються менш структурованими, відсутнє комплексне управління ризиками й обмежені можливості для масштабних інноваційних трансформацій.

Закономірність, яка простежується, полягає в тому, що масштаб підприємства прямо корелює з можливістю комплексного впровадження екологічної відповідальності та інтеграції “зелених” інновацій у стратегічне планування. Це підкреслює важливість диференційованого підходу до підтримки малих і середніх підприємств через стимулювання, навчальні програми, доступ до технологій і фінансування екологічних проєктів, що дасть їм змогу значно ширше реалізувати стратегії сталого розвитку та посилити їхню конкурентоспроможність.

Крім того, регіональна специфіка суттєво впливає на ефективність інтеграції екологічної відповідальності та “зеленої” політики в корпоративні стратегії. Підприємства, розташовані в регіонах із розвинутою екологічною інфраструктурою, доступом до сучасних технологій і більш суворими регуляторними вимогами, демонструють вищий рівень екологічної ефективності. Вони частіше впроваджують інноваційні технології, енергоефективні процеси, системи управління відходами та “зелені” стандарти виробництва, що дає змогу зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище й одночасно підвищувати економічну ефективність діяльності. У таких регіонах також відзначається вища активність у сфері ESG-звітності та соціальної взаємодії зі стейкхолдерами, що підвищує довіру інвесторів і формує позитивний корпоративний імідж.

Навпаки, підприємства в регіонах із низьким рівнем екологічного контролю, обмеженою інфраструктурою та меншим доступом до сучасних технологій рідше впроваджують системні “зелені” рішення. У цих умовах інтеграція екологічної відповідальності зазвичай має вибіркового характеру, обмежуючись локальними заходами з енергозбереження чи утилізації відходів, без комплексного включення до стратегічного планування. Це створює значну розбіжність у показниках екологічної та соціальної ефективності між регіонами та підкреслює, що зовнішні чинники — державне регулювання, доступ до технологій, рівень інвестиційної підтримки та суспільні очікування — виступають ключовими стимуляторами корпоративної “зеленої” трансформації.

Отже, регіональні умови визначають масштаб і глибину впровадження екологічних ініціатив, а системний вплив зовнішніх чинників значною мірою формує відмінності в результативності “зеленої” політики, підкреслюючи необхідність регіонально адаптованих стратегій сталого розвитку та стимулюючих механізмів для підприємств у менш розвинутих регіонах.

## ВИСНОВКИ

Стратегії сталого розвитку підприємств становлять концептуальну основу інтеграції екологічної відповідальності та корпоративних інновацій, спрямованих на забезпечення збалансованого економічного зростання, зниження екологічних ризиків і формування довгострокової конкурентоспроможності бізнесу в умовах трансформації глобальної економіки. Їх реалізація забезпечує системний підхід до управління ресурсами, екологічними впливами та соціальними зобов'язаннями підприємств.

Ефективність стратегій сталого розвитку визначається рівнем узгодженості екологічних, економічних і соціальних компонентів корпоративної діяльності, а також здатністю підприємств інтегрувати “зелені” інновації в процеси стратегічного планування та управління. Взаємодія екологічної відповідальності з корпоративними інноваціями формує передумови для підвищення ресурсної ефективності, зменшення негативного впливу на довкілля та зміцнення репутаційного капіталу підприємств.

Модель інтеграції екологічної відповідальності в стратегії сталого розвитку повинна охоплювати сукупність взаємопов'язаних елементів — корпоративні екологічні ініціативи, інструменти CSR та ESG, стандарти екологічного менеджменту й інноваційні технології. Усі складові моделі перебувають у тісному причинно-наслідковому зв'язку та залежать як від внутрішніх управлінських рішень підприємств, так і від зовнішніх чинників, зокрема регуляторного середовища, ринкових вимог й очікувань стейкхолдерів.

Проведений аналіз підтверджує, що комплексна інтеграція екологічної відповідальності в корпоративні стратегії сталого розвитку створює умови для системної “зеленої” трансформації бізнесу та переходу до моделей функціонування, орієнтованих на принципи “зеленої” економіки. Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на поглиблення кількісної оцінки ефективності “зелених” інновацій, а також на розроблення галузево й регіонально адаптованих стратегічних рішень у сфері сталого розвитку підприємств.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Охріменко, О. О., Фоменко, Д. В., & Ситайло, У. В. (2024). Інтеграція цілей сталого розвитку ООН у бізнес-стратегії корпоративної соціальної відповідальності: виклики та можливості консалтингу. *Здобутки економіки: перспективи та інновації*, 10. doi: 10.5281/zenodo.13326287
2. Le, T. T. (2022). How do corporate social responsibility and green innovation transform corporate green strategy into sustainable firm performance? *Journal of Cleaner Production*, 362, 132228. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132228
3. Ao, X., Ong, T. S., & Teh, B. H. (2023). Corporate sustainability development strategy and corporate environmental governance — The moderating role of corporate environmental investments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4528. doi: 10.3390/ijerph20054528
4. Живко, М. (2024). Корпоративна соціальна відповідальність у контексті зеленої економіки. *Економічний аналіз*, 34(1), 292–304. doi: 10.35774/econa2024.01.292
5. Santos-Jaén, J. M., Madrid-Guijarro, A., & García-Pérez-de-Lema, D. (2021). The impact of corporate social responsibility on innovation in small and medium-sized enterprises: The mediating role of debt terms and human capital. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 28(4), 1200–1215. doi: 10.1002/csr.2125
6. Chang, L., & Yu, Q. (2024). Sustainability-oriented social responsibility and corporate innovation. *China Journal of Accounting Research*, 17(2), 100359. doi: 10.1016/j.cjar.2024.100359
7. Akhouri, A., & Chaudhary, R. (2019). Employee perspective on CSR: A review of the literature and research agenda. *Journal of Global Responsibility*, 10(4), 355–381. doi: 10.1108/JGR-11-2018-0057
8. Hu, W., Du, J., & Zhang, W. (2020). Corporate social responsibility information disclosure and innovation sustainability: Evidence from China. *Sustainability*, 12(1), 409. doi: 10.3390/su12010409
9. Ratajczak, P., & Szutowski, D. (2016). Exploring the relationship between CSR and innovation. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 7(2), 295–318. doi: 10.1108/SAMPJ-07-2015-0058
10. Mithani, M. A. (2017). Innovation and CSR — Do they go well together? *Long Range Planning*, 50(6), 699–711. doi: 10.1016/j.lrp.2016.08.002
11. Barba-Aragón, M. I., & Jiménez-Jiménez, D. (2020). HRM and radical innovation: A dual approach with exploration as a mediator. *European Management Journal*, 38(5), 791–803. doi: 10.1016/j.emj.2020.03.007
12. Xu, X., Jing, R., & Lu, F. (2022). Environmental regulation, corporate social responsibility (CSR) disclosure and enterprise green innovation: Evidence from listed companies in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 14771. doi: 10.3390/ijerph192214771
13. Yang, D., Wang, A. X., Zhou, K. Z., & Jiang, W. (2019). Environmental strategy, institutional force, and innovation capability: A managerial cognition perspective. *Journal of Business Ethics*, 159, 1147–1161. doi: 10.1007/s10551-018-3830-5
14. Dzage, E. J., Hussain, M. R., Dapaah, P. O., & Mustapha, Y. (2024). Corporate social responsibility, sustainable environmental practices and green innovation; perspectives from the Ghanaian manufacturing industry. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, 9, Article 4. doi: 10.1186/s40991-024-00090-2

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGIES AS A BASIS FOR THE INTEGRATION OF ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY AND CORPORATE INNOVATIONS

**Golovan L.**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor  
State Biotechnological University (Kharkiv, Ukraine)

e-mail: GolovanLarisa14@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7630-3222>

**Klymenko I.**

Candidate of Agricultural Sciences

State Biotechnological University (Kharkiv, Ukraine)

e-mail: klymenkoigor1984@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3014-1694>

**Chupryna Yu.**

Doctor of Philosophy in Ecology, Associate Professor

State Biotechnological University (Kharkiv, Ukraine)

e-mail: 380507057016@btu.kharkov.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0294-131X>

**Koliada O.**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

State Biotechnological University (Kharkiv, Ukraine)

e-mail: olyakolyadapovh@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3727-5492>

*The article examines sustainable development strategies as a key basis for integrating environmental responsibility and corporate innovations into the activities of modern enterprises in the context of the transformation of the global economy and the intensification of environmental challenges. The relevance of the study is determined by the need for businesses to transition to operating models focused on the principles of the green economy, resource efficiency, and long-term competitiveness. The methodological basis of the study is a set of*

*general scientific and special methods of research, in particular analysis and synthesis, system and structural-functional approaches, comparative analysis, generalization of scientific sources, as well as logical-analytical methods. As a result of the analysis, it was established that the comprehensive integration of environmental responsibility and corporate innovations into the strategy of sustainable development of enterprises provides a systematic increase in the efficiency of resource use, in particular materials, energy, and financial resources, and also contributes to the optimization of production processes and the reduction in operating costs. At the same time, the introduction of green innovations contributes to the growth of the investment attractiveness of companies, the formation of long-term competitive advantages, and the strengthening of corporate capital. It has been proven that the integration of environmental initiatives has a positive impact on the social aspect of enterprises, in particular, it increases the involvement and loyalty of personnel, contributes to the formation of a positive image of the company among consumers and stakeholders, and also stimulates active interaction with public and regulatory institutions. A methodological approach to assessing the effectiveness of the integration of environmental responsibility and corporate innovations allows us to quantitatively determine the impact of green practices on the economic, social, and environmental indicators of enterprises, which makes it suitable for use in the processes of strategic planning, corporate resource management, and decision-making regarding the development of innovative environmental projects. This approach creates the basis for the formation of systematically balanced corporate strategies that combine economic efficiency with the principles of sustainable development and the green economy.*

**Keywords:** green economy, green innovations, corporate social responsibility (CSR), ESG approaches, environmental management, strategic management.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**ГОЛОВАНЬ Лариса Володимирівна** — кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет (вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: GolovanLarisa14@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7630-3222>).

**КЛИМЕНКО Ігор Вікторович** — кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет (вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: klymenkoigor1984@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3014-1694>).

**ЧУПРИНА Юлія Юріївна** — доктор філософії з екології, доцент, доцент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет (вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: 380507057016@btu.kharkov.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0294-131X>).

**КОЛЯДА Ольга Василівна** — кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет (вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: olyakolyadapovh@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3727-5492>).

## МОНІТОРИНГ ТА АНАЛІЗ РІВНІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ В УРБАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

**О. М. Тихенко**

доктор технічних наук, професор

Державний університет “Київський авіаційний інститут” (м. Київ, Україна)

e-mail: oksana.tykhenko@npp.kai.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6459-6497>

**А. О. Коновалов**

здобувач ступеня доктора філософії

Державний університет “Київський авіаційний інститут” (м. Київ, Україна)

e-mail: 9029317@stud.kai.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3137-0051>

Унаслідок урбанізації та стрімкого розвитку технологій електромагнітне випромінювання призводить до негативного впливу на здоров'я людей і природні екосистеми. Проведено моніторинг та аналіз рівнів електромагнітного випромінювання в урбанізованому середовищі. Установлено, що рівні електромагнітного поля суттєво відрізняються на різних локаціях, тобто просторове поширення електромагнітного випромінювання в урбанізованому середовищі є нерівномірним і динамічним. На більшості локацій рівні електромагнітного випромінювання відповідають нормативним вимогам. Потребують додаткових досліджень території, де зафіксовано перевищення рівнів. При цьому необхідно враховувати технічні характеристики джерел випромінювання та просторове поширення електромагнітних хвиль в урбанізованому середовищі. Електромагнітна хвиля може відбиватися від стін будівель, вікон, металевих конструкцій, транспорту й навіть від землі, унаслідок чого рівень поля може істотно відрізнитися на невеликих відстанях, а його моделювання потребує складних математичних алгоритмів, що враховують усі перешкоди й джерела.

**Ключові слова:** електромагнітне випромінювання, електромагнітна обстановка, екологічна безпека, електромагнітна хвиля, напруженість поля, щільність потоку енергії.

### ВСТУП

Зростання рівня урбанізації та бурхливий розвиток технологій, зокрема систем бездротового зв'язку, телекомунікацій та енергетичної інфраструктури, призвели до значного збільшення інтенсивності електромагнітного поля (ЕМП) у довкіллі. Це явище, відоме як електромагнітне забруднення, стало одним із актуальних екологічних факторів, що впливають на здоров'я людини й стан екосистем. Електромагнітне випромінювання (ЕМВ) техногенного походження створює додаткове навантаження на біологічні об'єкти, що може мати непередбачувані довгострокові наслідки [1–3].

Проблема впливу ЕМП на довкілля та організм людини набула офіційного статусу на міжнародному рівні ще у 1995 році, коли Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) офіційно запровадила термін “глобальне електромагнітне забруднення навколишнього середовища”. Це рішення стало визнанням підвищеної актуальності цієї проблеми, яку ВООЗ включила до переліку пріоритетних проблем людства. У відповідь на зростання стурбованості громадськості щодо потенційних ризиків для здоров'я від впливу ЕМП ВООЗ у 1996 році

створила Міжнародний проєкт з ЕМП (англ. *International EMF Project*) [4]. Метою цього проєкту було оцінити наявні наукові дані про потенційний вплив ЕМП на здоров'я людини в діапазоні частот від 0 до 300 ГГц. За результатами встановлено, що єдиним доведеним біологічним ефектом високоінтенсивних ЕМП є нагрів тканин.

ВООЗ вимагає максимального зниження рівнів полів до чіткого з'ясування меж допустимого впливу ЕМП залежно від частот та амплітуд. Тобто на цей фізичний фактор поширюється принцип ALARA (*As Low As Reasonably Achievable* — “настільки низько, наскільки це розумно досяжно”) — підхід, що застосовується до фізичних факторів, зокрема електромагнітного випромінювання. У розвинених країнах він часто використовується в ширшому значенні — ALARP (“настільки низько, наскільки це розумно практично”). Саме на цьому принципі ґрунтуються сучасні норми безпеки, зокрема рекомендації ICNIRP (Міжнародної комісії із захисту від неіонізуючого випромінювання). Ця концепція передбачає встановлення мінімально можливого рівня небезпеки з урахуванням практичних і соціальних аспектів.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сучасне електромагнітне середовище за останні десятиліття зазнало фундаментальних змін: домінування потужних віддалених джерел (лінії електропередач, радіовежі) змінилося поширенням численних малопотужних випромінювачів, що функціонують у безпосередній близькості до людини. До цих джерел належать смартфони, переносні пристрої, точки доступу Wi-Fi і смартпристрої (наприклад, гаджети, датчики температури (світла, руху), фітнес-трекери, промислові датчики, система Smart Home). Ця трансформація потребує перегляду традиційних методів оцінки електромагнітного впливу. Проведення систематичного моніторингу та всебічного аналізу рівнів ЕМП в урбанізованому середовищі є надзвичайно важливим завданням для забезпечення екологічної безпеки.

**Метою дослідження** є комплексний моніторинг та аналіз рівнів електромагнітного забруднення в урбанізованому середовищі міста Вишневе Київської області для оцінки поточного екологічного стану й прогнозування можливих змін.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вимірювання напруженості електромагнітного поля здійснювали широкосмуговим вимірювачем ТМ-190 згідно з інструкцією з експлуатації. Вимірювач ТМ-190 є зручним інструментом для швидкої оцінки електромагнітного фону в побутових умовах і призначений для оцінки рівня електромагнітного фону від трьох основних джерел: радіочастотного випромінювання (RF) (смартфони, Wi-Fi-роутери, базові станції мобільного зв'язку, побутові прилади тощо); магнітного поля (MF) (лінії електропередач, побутові прилади, трансформатори); електричного поля (EF) (випромінювання від електричних мереж і приладів, але вимірюється як окрема компонента). На кожній локації було проведено три серії вимірювань на різних

відстанях від джерела. Усі заміри проводили на відкритому повітрі, у світлий час доби, за сухих погодних умов, з дотриманням однакової методології фіксації просторового положення та висоти встановлення приладу (2 м над поверхнею землі). Оброблення результатів вимірювань здійснювали за стандартною методикою статистичного оброблення даних повторних вимірювань. Отримані значення порівнювали з допустимими нормами, установленними в Україні [5; 6], і міжнародними стандартами [7].

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Рівень електромагнітного забруднення зростає експоненційно, збільшуючись у 10–15 разів кожні десять років [8; 9]. Це стрімке зростання зумовлене активним упровадженням нових джерел ЕМП, особливо систем бездротового зв'язку, функціональними елементами яких є базові станції. Аналіз кількісних даних підтверджує цей тренд (табл. 1).

З метою оцінки рівня електромагнітного забруднення в урбанізованому середовищі були проведені натурні вимірювання рівнів електромагнітного випромінювання в радіочастотному діапазоні від 50 МГц до 3,5 ГГц на 12 попередньо визначених геопросторових локаціях на території міста Вишневе Київської області (табл. 2, рис. 1). Для підвищення надійності й достовірності отриманих даних на кожній локації виконано три незалежні серії вимірювань, що дало змогу врахувати потенційну варіативність показників у межах одного середовища.

Результати, наведені в табл. 2 і на рис. 1, свідчать, що рівні електромагнітного поля суттєво відрізняються на різних локаціях, що вказує на локалізацію джерел випромінювання або залежність їхньої інтенсивності від конкретного місця. Загальні тенденції за трьома серіями вимірювань є подібними, але не ідентичними. Це може свідчити про динамічність джерел випромінювання або про вплив тимчасових факторів (наприклад, погодних умов, активності пристроїв). Найвищі показники зафіксовано

Таблиця 1

Динаміка розвитку бездротових технологій

| Глобальні ключові показники                                                   | 2023 р. | 2024 р. | Прогноз на 2030 р. |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------------|
| Кількість абонентів мобільного зв'язку, млн                                   | 8 510   | 8 660   | 9 430              |
| Кількість абонентів 5G, млн                                                   | 1 620   | 2 300   | 6 290              |
| Точки доступу Wi-Fi, млн                                                      | 542     | 549     | —                  |
| Кількість абонентів мобільного зв'язку на 100 осіб, за даними Світового банку | 109,4   | 112,1   | —                  |

Джерело: [8; 9].

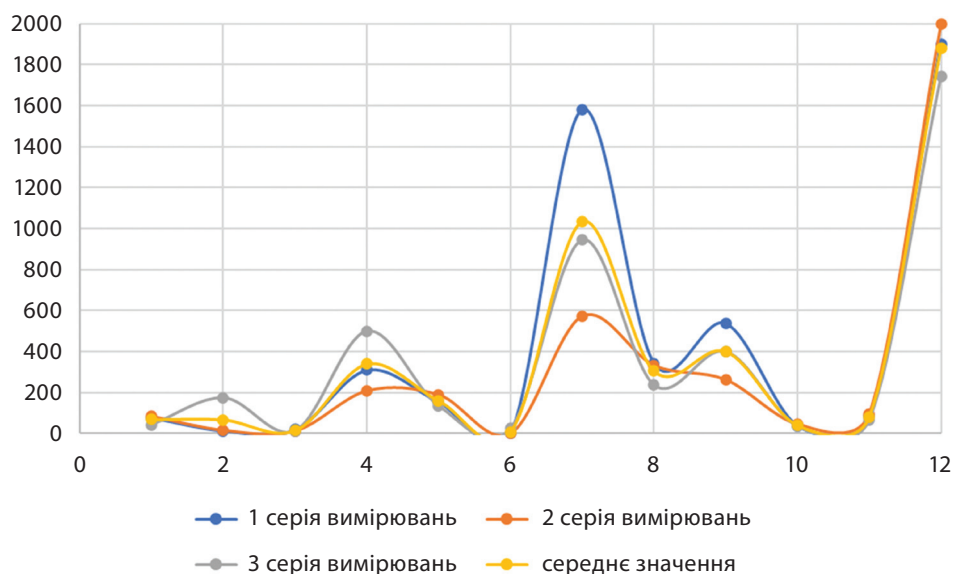


**Рис. 1.** Рівні електромагнітного випромінювання у м. Вишневе Київської області

Джерело: розроблено за результатами натурних вимірювань.

на локаціях 7 і 12. Це може вказувати на наявність потужних джерел електромагнітного випромінювання поблизу цих точок (наприклад, веж стільникового зв'язку, трансформаторних підстанцій, промислового обладнання). Дані, представлені в табл. 2, підтверджують, що рівень ЕМП в урбанізованому середовищі не є однорідним.

Це свідчить про локалізований характер джерел випромінювання, а їхня інтенсивність безпосередньо залежить від конкретного місця.

Найвищі показники, що суттєво перевищують середні значення, були зафіксовані на локаціях 7 і 12. Це може бути пов'язано з безпосередньою близькістю до потужних стаціонарних джерел, таких як базові станції мобільного зв'язку, телевізійні чи радіовежі або інше промислове обладнання.

Відповідно до національних нормативів допустимі рівні ЕМВ не повинні бути вищими за 100 мкВт/см<sup>2</sup> [5]. Рекомендації [7] встановлюють гранично допустимі рівні випромінювання,

Таблиця 2

**Результати вимірювання рівня електромагнітного випромінювання**

| Локація | 1-ша серія вимірювань, мкВт/см <sup>2</sup> | 2-га серія вимірювань, мкВт/см <sup>2</sup> | 3-тя серія вимірювань, мкВт/см <sup>2</sup> | Середнє значення, мкВт/см <sup>2</sup> |
|---------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1       | 78                                          | 85                                          | 44                                          | 69                                     |
| 2       | 14                                          | 17                                          | 174                                         | 68                                     |
| 3       | 20                                          | 14                                          | 14                                          | 16                                     |
| 4       | 310                                         | 210                                         | 500                                         | 340                                    |
| 5       | 155                                         | 190                                         | 134                                         | 160                                    |
| 6       | 1                                           | 2                                           | 25                                          | 9                                      |
| 7       | 1 580                                       | 574                                         | 944                                         | 1 033                                  |
| 8       | 344                                         | 334                                         | 236                                         | 305                                    |
| 9       | 538                                         | 264                                         | 400                                         | 401                                    |
| 10      | 39                                          | 48                                          | 35                                          | 41                                     |
| 11      | 84                                          | 98                                          | 66                                          | 83                                     |
| 12      | 1 900                                       | 1 996                                       | 1 744                                       | 1 880                                  |

Джерело: сформовано за результатами натурних вимірювань.

які значно вищі за українські. Наприклад, для діапазону мобільного зв'язку (900–2100 МГц) норми ICNIRP становлять 1 000 мкВт/см<sup>2</sup> (10 Вт/м<sup>2</sup>).

Аналіз даних незалежних серій вимірювань на кожній локації показав, що, попри загальну тенденцію, показники можуть суттєво відрізнятися. Наприклад, на локації 2, де середня інтенсивність становить 68 мкВт/см<sup>2</sup>, третя серія вимірювань показала досить високе значення — 174 мкВт/см<sup>2</sup>. Це вказує на динамічність електромагнітного середовища й можливий вплив тимчасових факторів. До таких факторів можуть належати інтенсивність використання бездротових мереж у певний час доби (наприклад, пікові години), запуск чи вимкнення певних пристроїв або інші змінні, що не були враховані. Високі показники на окремих локаціях (особливо на локації 12, де середнє значення становить 1880 мкВт/см<sup>2</sup>) потребують подальшого вивчення та оцінки потенційних ризиків для здоров'я.

Загалом просторове поширення ЕМП в урбанізованому середовищі є нерівномірним і динамічним. Електромагнітна хвиля відбивається від стін будівель, вікон, металевих конструкцій, транспорту та від землі, унаслідок чого рівень поля може істотно відрізнятися навіть на невеликих відстанях, а його моделювання потребує складних математичних алгоритмів, що враховують усі перешкоди й джерела. Зокрема, для базових станцій мобільного зв'язку, які є основними джерелами ЕМП в урбанізованому середовищі, і для інших джерел поля суттєвим є відбиття та перевідбиття електромагнітних хвиль, що необхідно враховувати під час оцінки впливу на здоров'я. У багатьох випадках джерелами падаючих хвиль є кілька відбитих від інших поверхонь хвиль (рис. 2).

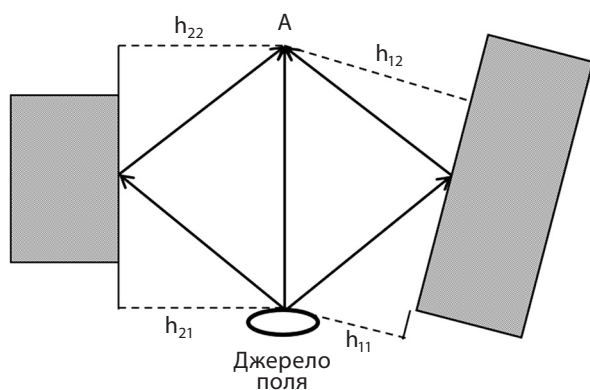


**Рис. 2.** Вплив відбиття (перевідбиття) електромагнітних хвиль на електромагнітну обстановку в точці А

Джерело: [10].

В усіх випадках потрібно враховувати коефіцієнт підсилення антени передавальних пристроїв мобільного зв'язку. Цей коефіцієнт є паспортною величиною, яка показує, наскільки ефективно антена фокусує енергію в певному напрямку, а не випромінює її рівномірно в усі боки. Тоді щільність потоку енергії від джерела становитиме:

$$W = \frac{p_{cp} G}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

де  $p_{cp}$  — потужність випромінювання джерела, Вт;  $G$  — коефіцієнт підсилення потужності антени;  $R$  — відстань від джерела випромінювання до розрахункової точки, м.

Будь-яка відбивальна поверхня певним чином спотворює хвилю та знижує її потужність. При цьому коефіцієнт послаблення становитиме:

$$F = \sqrt{1 + 2K \cos\left(\theta + \frac{4\pi h_{11} h_{12}}{\lambda R}\right) + K^2}, \quad (2)$$

де  $K$  — коефіцієнт відбиття від поверхні;  $\theta$  — кут зміни фази відбитого променя;  $\lambda$  — довжина хвилі.

З урахуванням цього виразу щільність потоку енергії за умови відбиття становить:

$$W = \frac{PG}{4\pi R^2} F^2. \quad (3)$$

При визначенні інтегральних значень щодо напрямів і кутів падіння таких хвиль у точку захисту слід враховувати кожен з критичних відбивальних поверхонь. Досвід свідчить, що в умовах наявності нерівних відбивальних поверхонь (дифузне відбиття) коефіцієнт послаблення можна взагалі не враховувати, тоді:

$$W = \frac{PG}{4\pi R^2}. \quad (4)$$

Водночас за великих кутів ковзання (великих кутів падіння) і  $R \leq \frac{4h_{11}h_{12}}{\lambda}$ :

$$W = \frac{PG}{\pi R^2} (1 + K)^2. \quad (5)$$

За малих кутів ковзання та за умови, що  $R \leq \frac{4h_{11}h_{12}}{\lambda}$ :

$$W = \frac{PG}{\pi R^2}. \quad (6)$$

Слід зазначити, що коефіцієнти ослаблення для всіх радіотехнічних засобів відомі. Водночас коефіцієнти відбиття ( $K_v$ ) усіх критичних поверхонь потрібно з'ясовувати в реальних умовах [10].

Отже, врахування ефекту багатопроменевого поширення є критично важливим для

точної оцінки електромагнітної обстановки середовища. Без моделювання поширення ЕМП в місті буде значно відрізнятись від реальних вимірювань.

### ВИСНОВКИ

У результаті дослідження встановлено, що рівень електромагнітного забруднення в урбанізованому середовищі є нерівномірним. Виявлено локації, де рівень випромінювання значно перевищує фонові показники, що свідчить про наявність поблизу потужних джерел. Це потребує проведення подальших досліджень щодо ідентифікації джерел ЕМП, їхньої оцінки

згідно з чинними санітарними нормами й моделювання поширення електромагнітних хвиль у просторі.

Різниця в показниках між трьома серіями вимірювань вказує на те, що інтенсивність ЕМП є динамічною та залежить від тимчасових факторів, таких як активність джерел випромінювання. Це потребує проведення постійного моніторингу. Отримані дані можуть стати основою для розробки та впровадження ефективних заходів екологічного управління з метою зниження ризиків, пов'язаних з електромагнітним забрудненням урбанізованого середовища.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Hu, C., Zuo, H., & Li, Y. (2021). Effects of radiofrequency electromagnetic radiation on neurotransmitters in the brain. *Frontiers in Public Health*, 9, 691880. doi: 10.3389/fpubh.2021.691880
2. Roy, B., Niture, S., & Wu, M. H. (2021). Biological effects of low power nonionizing radiation: A narrative review. *Journal of Radiation Research*, 1(1), 1–23. doi: 10.46439/radiation.1.001
3. Liu, L., Huang, B., Lu, Y., Zhao, Y., Tang, X., & Shi, Y. (2024). Interactions between electromagnetic radiation and biological systems. *iScience*, 27(3), 109201. doi: 10.1016/j.isci.2024.109201
4. World Health Organization. (n.d.). *The International EMF Project*. Retrieved from <https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project>
5. Міністерство охорони здоров'я України. (1996). *Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань (ДСН 239-96)* [з останніми змінами, внесеними наказом від 05.09.2023 № 1577]. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#Text>
6. Міністерство охорони здоров'я України. (2002). *Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів (ДСНіП 3.3.6.096-2002)*. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>
7. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (2025). Gaps in knowledge relevant to the “ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)”. *Health Physics*, 128(2), 190–202. doi: 10.1097/HP.0000000000001944
8. Ericsson. (n.d.). *Mobility report: Key figures*. Retrieved from <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/key-figures>
9. Federal Reserve Bank of St. Louis. (n.d.). *Mobile cellular subscriptions in world*. FRED. Retrieved from <https://fred.stlouisfed.org/series/ITCELSETSP2WLD>
10. Тихенко, О. М. (2021). *Методологічні та технологічні засади захисту працюючих від впливу електромагнітних полів металевими та композиційними екрануючими матеріалами* (Дис. д-ра тех. наук, Національний авіаційний університет). Взято з [https://science.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/09/dis\\_Tykhenko.pdf](https://science.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/09/dis_Tykhenko.pdf)

### MONITORING AND ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC POLLUTION LEVELS IN AN URBANIZED ENVIRONMENT

**Tykhenko O.**

Doctor of Technical Sciences, Professor

State University “Kyiv Aviation Institute” (Kyiv, Ukraine)

e-mail: oksana.tykhenko@npp.kai.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6459-6497>

**Kononov A.**

Postgraduate Student

State University “Kyiv Aviation Institute” (Kyiv, Ukraine)

e-mail: 9029317@stud.kai.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3137-0051>

*As a result of urbanization and rapid development of technologies, electromagnetic radiation has a negative impact on human health and natural ecosystems. Monitoring and analysis of electromagnetic radiation levels in an urban environment were carried out. It was found that electromagnetic field levels differ significantly across different locations, i.e. the spatial distribution of electromagnetic radiation in an urban environment is uneven and dynamic. In most locations, electromagnetic radiation levels meet regulatory requirements. Additional research is needed in the areas where levels are exceeded. In this case, it is necessary to take into account the technical characteristics of radiation sources and the spatial distribution of electromagnetic waves in an urban environment. An electromagnetic wave can be reflected from the walls of buildings, windows, metal structures,*

*transport, and even from the ground, as a result, the field level can vary greatly even at short distances, and its modeling requires complex mathematical algorithms that take into account all obstacles and sources.*

**Keywords:** *electromagnetic radiation, electromagnetic environment, environmental safety, electromagnetic wave, field strength, energy flux density.*

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**ТИХЕНКО Оксана Миколаївна** — доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології, Державний університет “Київський авіаційний інститут” (пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058; e-mail: oksana.tykhenko@npp.kai.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6459-6497>).

**КОНОВАЛОВ Андрій Олександрович** — здобувач ступеня доктора філософії, Державний університет “Київський авіаційний інститут” (пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058; e-mail: 9029317@stud.kai.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3137-0051>).

## Новини

### Новини

## Новини • Новини • Новини

**А**номальна погода в Чорнобильському заповіднику – випробування для дикої фауни. За даними метеостанції “Чорнобиль”, перша декада січня 2026 року виявилася аномальною: кількість опадів значно перевищила кліматичну норму, температура різко коливалася — відлиги з дощами швидко змінювалися сильними морозами. “Саме така нестійка погода спричинила утворення льодової кірки на рослинності та щільного насту на поверхні снігу. Вплив цих погодних умов на дику фауну безпосередній і відчутний: ускладнюється пересування, наст ріже лапи, заважає тікати від хижаків, утруднює пошук їжі й суттєво підвищує енерговитрати”, — наголошують у заповіднику. За словами дослідників, виживання тварин в таких умовах залежить від витривалості, адаптаційних механізмів і мінімального людського втручання.

## МЕНЕДЖМЕНТ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ НПП “КАРМЕЛЮКОВЕ ПОДІЛЛЯ” ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СХІДНОПОДІЛЬСЬКОГО РЕГІОНУ

**О. В. Мудрак**

доктор сільськогосподарських наук, професор  
КЗВО “Вінницька академія безперервної освіти” (м. Вінниця, Україна)  
e-mail: ov\_mudrak@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>

**О. С. Дем'янюк**

доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН  
Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)  
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>

**А. П. Магдійчук**

доктор філософії з екології  
Хмельницький національний університет (м. Хмельницький, Україна)  
e-mail: mahdiichuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6719-2148>

**Ю. П. Антонюк**

аспірант  
Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)  
e-mail: yuraantoniuk22@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3257-0843>

У статті здійснено аналіз управління охоронними екосистемами Національного природного парку (НПП) “Кармелюкове Поділля” в контексті реалізації Цілей сталого розвитку (ЦСР) та надання екосистемних послуг Східноподільського регіону. Територія парку є важливим осередком збереження біорізноманіття і природних ландшафтів Східного Поділля та поєднує природоохоронні, еколого-освітні й рекреаційні функції, що зумовлює необхідність застосування інтегрованих підходів до менеджменту екосистем. Проаналізовано становлення та розвиток еколого-освітніх програм, рекреаційних і туристичних маршрутів як складових сучасної екологічної політики в межах НПП. Установлено, що реалізація екологічних ініціатив, діяльність екологічної школи й упровадження освітніх проєктів сприяють формуванню екологічної свідомості місцевого населення та залученню молоді до природоохоронної діяльності. Охарактеризовано мережу екологічних стежок і рекреаційних пунктів. Зокрема, виділено такі маршрути: “До чистих джерел Поділля”, “Ромашково”, “Подорожуємо з НПП “Кармелюкове Поділля””, “В гості до сусідів”, “Весела Маланка”, “Загублений світ”, “Загублений світ-2”, “Заповідними місцями НПП “Кармелюкове Поділля””, “Поїхали з нами”; серед еколого-освітніх та еколого-пізнавальних стежок — “Пізнай і збережи”, “Вишенька”, “Стежками партизанської слави”, “Книга природи НПП “Кармелюкове Поділля””, “Природа — не смітник”, “Пасіка”, “Іпорелакс”, “Куби” як елементи сталого розвитку екологічного туризму; серед рекреаційних об'єктів у межах НПП (з урахуванням антропогенного навантаження) — гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення “Три криниці”, рекреаційні пункти на екологічній стежці “Вишенька”, “Криниця Лотоцького”, “Анютине джерело”, “Юрково”, “Біля верби”. Обґрунтовано роль екосистемних послуг (підтримувальних, культурних, постачальних, регулювальних) у забезпеченні сталого функціонування природних екосистем та узгодженні природоохоронних цілей із соціально-економічними потребами регіону. На основі проведеного SWOT-аналізу оцінено сучасний стан екосистем НПП, виявлено сильні та слабкі сторони, визначено можливості та загрози. Побудовано ситуаційну модель управління, що сприяє обґрунтуванню планування, підвищенню ефективності менеджменту та вибору оптимальних стратегій розвитку. Установлено першопричини й істотні загрози для природних екосистем, виділено пріоритетну природну цінність та основні екосистемні послуги, цілі й цінності добробуту. Розроблено комплекс заходів із менеджменту охоронних екосистем та оптимізації функціонального зонування НПП “Кармелюкове Поділля”, спрямованих на реалізацію цілей сталого розвитку Східного Поділля.

**Ключові слова:** екосистемні послуги, екологічний туризм, рекреація, природоохоронна територія, SWOT-аналіз, ситуаційна модель.

## ВСТУП

Природні екосистеми національних природних парків відіграють ключову роль у збереженні біорізноманіття, підтриманні екосистемних послуг і забезпеченні сталого розвитку регіонів. Оцінка біорізноманіття та пов'язаних із ним екосистемних послуг є одним із ключових напрямів наукових досліджень і сучасної державної політики [1].

Одним із елементів стратегії Європейського Союзу (ЄС) щодо біорізноманіття є екосистемні послуги. Поняття “екосистемні послуги” вперше вжив британський учений Е. F. Schumacher у праці “Small Is Beautiful: Economics as if People Mattered” у 1973 році. Досліджуючи взаємозалежність людини та навколишнього середовища, учений увів термін “екосистемні (екологічні, довкільні або природні) послуги”, знання про які необхідні для розуміння важливості збереження біорізноманіття й підтримання природних процесів у довкіллі для суспільства. Від збереження екосистем, їхніх компонентів і біорізноманіття загалом залежить розширення економічних можливостей і забезпечення середовища існування самих людей.

Загалом у ЄС сформована спільна міжнародна класифікація екосистемних послуг. Ідентифікують чотири групи екосистемних послуг: забезпечувальні, або послуги постачання (*provisioning services*); регулювальні (*regulating services*); культурні (*cultural services*); підтримувальні (*supporting services*) [2].

В умовах посилення антропогенного навантаження, кліматичних змін і трансформації землекористування актуальності набуває напрям ефективного менеджменту природоохоронних територій, спрямований на збалансування природоохоронних, соціально-економічних і рекреаційних функцій.

Менеджмент охоронних екосистем є особливо актуальним у випадку, коли екосистеми втратили здатність до саморегуляції та самовідновлення, а керування ними ускладнене внаслідок відсутності детальної інформації про екотопічні, трофічні, консортивні, міжпопуляційні та інші біоценотичні зв'язки.

Ефективний менеджмент дає змогу поєднувати екологічні, соціальні й економічні інтереси, забезпечувати сталий розвиток територій і підвищувати рівень екологічної безпеки. Це поєднується, зокрема, в організації рекреаційної та туристичної діяльності, що є також важливим напрямом розвитку в межах заповідних об'єктів.

Об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ) мають високий культурний і рекреаційний потенціал завдяки ландшафтному й біотичному різноманіттю, унікальності біотопів, природним

умовам для оздоровлення та освітнього розвитку, тому в цьому контексті менеджмент охоронних екосистем створює умови для:

- збалансованого використання рекреаційних ресурсів (для запобігання деструктивному впливу й деградації);
- здійснення планування екологічних маршрутів і стежок із метою мінімального впливу на природні компоненти;
- зонування та регулювання маршрутів для контролю потоків відвідувачів;
- здійснення заходів екологічної просвіти щодо проблематики й ролі природоохоронних територій у збереженні цінних природних комплексів, формування екологічної свідомості;
- розвитку екологічного туризму як засобу гармонізації відносин між суспільством та навколишнім середовищем [3; 4].

**Мета дослідження** — аналіз системи менеджменту природних екосистем НПП “Кармелюкове Поділля” з позицій реалізації Цілей сталого розвитку та визначення ролі й потенціалу парку в забезпеченні екологічної, соціальної та економічної сталості Східноpodільського регіону.

**Об'єкт дослідження** — природні екосистеми НПП “Кармелюкове Поділля”.

**Предмет дослідження** — механізми та інструменти менеджменту природних екосистем, спрямовані на збереження біорізноманіття, підтримання екосистемних послуг і реалізацію Цілей сталого розвитку.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Менеджмент охоронних екосистем є ключовим інструментом біоекономіки, збереження біорізноманіття, підтримання екосистемних функцій і послуг у довгостроковій перспективі. Взаємозв'язок між біорізноманіттям та екосистемними послугами є складним і багатостороннім. Як зазначали Л. О. Безлатня, М. П. Матківський і Т. П. Лозінська, що більша різноманітність видів в екосистемі, то стійкішою й продуктивнішою вона є, що сприяє кращому забезпеченню екосистемних послуг [5; 6].

Оцінку екосистемних послуг у межах заповідних територій здійснювали Т. А. Сафранов, А. В. Чугай, В. Г. Ільїна [7], С. О. Потоцька [8], О. А. Оливко, Л. П. Царик, П. Л. Царик [9], І. В. Наконечний, О. Г. Грушина, І. Л. Миропольський [10], полезахисних смуг — Д. В. Дубина, П. М. Устименко, Л. П. Вакаренко, В. В. Дацюк [11], міських ландшафтів — Н. П. Корогода [12] та ін.

Менеджмент спрямований і на активне управління природними процесами, мінімізацію антропогенного навантаження та адаптацію

природних екосистем до глобальних викликів, зокрема до зміни клімату. Вплив на зміни клімату розглядали А. В. Жук [13], Т. В. Шелешей, М. О. Гончаренко [14].

Ю. Шведюк визначив концепцію менеджменту територій та об'єктів природно-заповідного фонду. Менеджмент природно-заповідних територій має базуватися на комплексному екосистемному підході, який здатен враховувати динамічність, складність і специфіку функціонування екосистем [15].

Цінність рекреаційної, освітньої та туристичної діяльності, а також інноваційні підходи до питань їх розвитку описали у своїх працях О. Любинський, Л. Любинська, О. Пучка, Р. Якубаш, Н. Яцемірська [1], Л. М. Гавриш [16], А. В. Бабинець, Ю. В. Шведюк, О. А. Ярош [17], Е. А. Кульчицька, С. О. Соломчак [18], Ю. Б. Миронов, І. І. Свидрук, В. М. Козлова [19], Ю. Жилищич зі співавт. [20], Т. С. Тихомирова та ін. [21].

Через низку зовнішніх чинників можливі втрати екосистемних послуг, які досліджували вчені В. О. Воронін, С. В. Бурченко [22], М. М. Луцан, О. М. Германович [23].

Системний підхід до управління охоронними екосистемами є надзвичайно актуальним і для НПП "Кармелюкове Поділля", оскільки територія поєднує унікальні фітоценози Східного Поділля, які забезпечують широкий спектр екосистемних послуг, а розташування парку в умовах ландшафтного різноманіття дає поштовх до розвитку рекреаційної та туристичної галузі.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження системи менеджменту охоронних екосистем проводили в межах НПП "Кармелюкове Поділля", розташованого на території Гайсинського р-ну Вінницької обл. в адміністративних межах Чечельницької селищної, Ольгопільської сільської та Ободівської сільської територіальних громад (ТГ).

У дослідженні застосовували загальнонаукові (аналіз, синтез, логічну побудову) і стратегічні (планування, SWOT-аналіз) методи, комплексний, статистичний, системний і порівняльний аналізи.

Аналіз здійснювали на основі інформації, отриманої внаслідок польових досліджень та під час опрацювання фондових і літературних джерел. Обробку та систематизацію даних польових досліджень виконали в камеральних умовах [24; 25].

Для оцінки сучасного стану та рівня збереженості охоронних екосистем парку проведено SWOT-аналіз (сильні й слабкі сторони, мож-

ливості й загрози), на основі якого побудовано ситуаційну модель для території парку (першопричини загроз, істотні загрози, пріоритетні природні цінності, екосистемні послуги, цілі та цінності добробуту).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Природоохоронні об'єкти поєднують завдання збереження природної спадщини з потребами рекреації, розвитку екологічного туризму та підтримання добробуту місцевих громад. У цьому контексті особливого значення набуває оцінка здатності природних екосистем забезпечувати різноманітні екосистемні послуги, зокрема культурного, рекреаційного та регульовального напрямів. Національний природний парк "Кармелюкове Поділля" як один із ключових осередків збереження природних екосистем Східного Поділля має значний потенціал для реалізації Цілей сталого розвитку через інтеграцію екологічних пріоритетів у регіональну систему управління природними ресурсами та розвитку територій. Ефективне управління охоронними екосистемами в контексті виконання ЦСР забезпечує:

- охорону водно-болотних комплексів, джерел прісної води, регулювання стоку та водного балансу (6, 14 ЦСР);
- збереження природного середовища існування рідкісних видів (14, 15 ЦСР);
- розвиток відповідального природокористування на прилеглих територіях і формування екологічної свідомості суспільства (12 ЦСР);
- зменшення впливу кліматичних змін через управління лісами, болотами, степовими екосистемами (13 ЦСР);
- охорону видового й ландшафтного різноманіття, відновлення природних середовищ суходолу (15 ЦСР);
- залучення місцевих громад і стейкхолдерів до етапів ухвалення рішень (16, 17 ЦСР) [26].

Складовою екологічної політики є становлення системи цілеспрямованої екологічної освіти. Без широкого поширення екологічних знань, екологізації освіти, умінь, навичок і компетентностей неможливо сформувати нове покоління з відповідним переконанням і свідомістю, діяльнісним підходом щодо збереження природних цінностей і культурних надбань.

Екологічна освіта та просвіта людей на заповідних територіях є невід'ємною складовою освіти в інтересах сталого розвитку, базовими чинниками гуманістичного розвитку заповідної справи, які покликані поглибити усвідомлене ставлення людей до природи. Враховуючи сучасну методологію роботи, вітчизняний і закордонний досвід у цій сфері, до основних стра-

тегічних напрямів еколого-освітньої діяльності заповідних територій належать: робота із засобами масової інформації; рекламно-видавнича діяльність; проведення виїзних екологічних лекцій, круглих столів, конференцій, семінарів, вікторин, лабораторних і практичних уроків; організація екскурсій, експедицій, екологічних таборів; взаємодія з освітніми закладами різних форм і рівнів акредитації тощо.

Працівники НПП здійснюють освітню та просвітницьку діяльність щодо проблематики й ролі природоохоронних територій у збереженні цінних природних комплексів, зокрема водноболотних угідь, їх раціонального використання, а також сприяють поглибленню знань про охорону рідкісних видів флори та фауни.

У межах парку діє екологічна школа, де юні природодослідники мають можливість дізнатися про рослинний і тваринний світ, особливості природоохоронної діяльності НПП, брати участь в екологічних ініціативах, а також у заходах, формуючи таким чином екологічну свідомість та екологічні звички ще зі шкільного віку.

Крім того, у межах парку існують розроблені тематичні екологічні стежки, оглядові екскурсії та туристичні маршрути, які, зокрема, сприяють формуванню екологічної компетентності у здобувачів освіти. Відомою є перша створена екологічна стежка "Вишенька", яка пролягає через ботанічну пам'ятку природи загальнодержавного значення "Терещуків Яр", де локалізований реліктовий вид — відкасник татарниколистий (*Carlina onopordifolia* Besser ex DC.).

Екологічні стежки є формою екологічного туризму — напряду рекреаційної діяльності, який позитивно впливає на формування екологічної культури шляхом побудови взаємовідносин людини з природою на засадах дбайливого ставлення до довкілля. Цей напрям є перспективним і поширюється в межах заповідних територій України, а також гармонізує відносини між суспільством і навколишнім середовищем та керується екологічними, геоекоекологічними, еколого-стабілізуючими, інтелектуально-освітніми, соціально-етичними, етноекоекологічними та економіко-розвивальними принципами.

Поняття "екологічний туризм" є невід'ємним від поняття "екологічна освіта", оскільки його просвітницький та освітній потенціал має регулятивний важіль управління урбанізаційними процесами й процесами раціонального природокористування та охорони довкілля.

Дослідження проблем і перспектив розвитку екологічного туризму є актуальним, оскільки в реаліях сьогодення серйозними викликами

для рекреаційної сфери стали воєнні дії на території України.

Східне Поділля має всі передумови для інтенсивного розвитку внутрішнього та зовнішнього туризму, а саме: особливості географічного положення, сприятливий клімат, багатство природного, історико-культурного та туристично-рекреаційного потенціалу.

Екологічний туризм у межах природоохоронних територій, згідно із Законом України "Про природно-заповідний фонд", здійснюється в зонах регульованої рекреації, де дозволена туристична діяльність і може здійснюватися оздоровлення та відпочинок населення.

Посідання природних ландшафтів з історико-археологічними пам'ятками сприятиме задоволенню потреб як місцевих рекреантів, так і створенню всеукраїнських і міжнародних туристських маршрутів. Зелені маршрути є новою формою екологічного туризму, що об'єднує багатофункціональні маршрути природної та культурної спадщини, побудовані вздовж природних екологічних коридорів, річок, історичних торгових шляхів тощо. НПП "Кармелюкове Поділля" як структурний елемент національної екологічної мережі має на меті збереження репрезентативних ландшафтів із рідкісними видами флори та фауни, тому створення нових і розвиток наявних зелених маршрутів є актуальним і перспективним напрямом у контексті використання рекреаційного потенціалу території.

Організація туристичної та рекреаційної діяльності настільки ж важлива, як і охорона природних і культурних цінностей, які доповнюють активний відпочинок, що забезпечує індивідуальне задоволення потреб і просторову ідентичність. Тому, використовуючи потенційні можливості цієї території та розвиваючи відповідну інфраструктуру, створюючи належні умови для повноцінної туристичної діяльності, можна збільшити потік туристів і залучити їх до розвитку туристичної галузі Східного Поділля.

На території парку прокладено такі маршрути: "До чистих джерел Поділля", "Ромашково", "Подорожуємо з НПП "Кармелюкове Поділля"", "В гості до сусідів", "Весела Маланка", "Загублений світ", "Загублений світ-2", "Заповідними місцями НПП "Кармелюкове Поділля"", "Поїхали з нами".

Серед еколого-освітніх та еколого-пізнавальних стежок варто виділити такі: "Пізнай і збережи", "Вишенька", "Стежками партизанської слави", "Книга природи НПП "Кармелюкове Поділля"", "Природа — не смітник", "Пасіка", "Іпорелакс", "Куби".

Нині в парку необхідно проводити наукову діяльність, розвивати різні види екотуризму

(пішохідний, велосипедний, кінний, водний, теренкур, історико-культурний та ін.), займатися розробленням еколого-пізнавальних стежок ("Вишенька" та ін.), підвищувати еколого-освітній рівень місцевого населення. Ця робота має бути спрямована на відродження народних традицій у галузі охорони природи та формування дбайливого ставлення до природи рідного краю. Адже парк є природним ядром і "зв'язною" ключовою територією (екологічним вузлом) регіональної екомережі Вінницької та Одеської областей.

Серед рекреаційних об'єктів у межах НПП варто виділити такі (з урахуванням антропогенного навантаження):

*Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення "Три криниці" (урочище "Лізвора").* Цей рекреаційний об'єкт має значне антропогенне навантаження через паломників і велике скупчення людей, особливо на релігійні свята (на православне свято Пантелеймона), що сприяє ущільненню та пошкодженню ґрунту і, як наслідок, деградації рослинності.

*Рекреаційний пункт на екологічній стежці "Вишенька".* Найбільше навантаження на нього припадає в період із початку весни до середини осені. Основне антропогенне навантаження спричинене скупченням відходів і сміття після туристів. Значним є пірогенний чинник — непогашені вогнища або навмисні підпали сухої трави зумовлюють пожежі, що призводить до випалювання рослинності та є прямою загрозою для зникнення рідкісних видів рослин. Активний транспортний потік призводить до ґрунтового ущільнення і локальної деградації трав'яного покриву та порушення естетики території внаслідок формування нових автомобільних доріг і виїзду нових стежок. Людська присутність у заповідній зоні впливає на диких тварин, особливо птахів.

*Рекреаційний пункт "Криниця Лотоцького"* має все необхідне для туристів у весняно-літній період: співробітники парку забезпечили наявність альтанок, місць для розведення вог-

нища, питної води, дитячих зон. Антропогенний вплив проявляється виїздом надґрунтового покриву, підстилки й підросту, ушкодженням дерев, ущільненням ґрунту, відлякуванням тварин, знищенням чагарників, збором і виїздом рідкісних видів рослин, забрудненням повітря викидами автотранспорту, засмічуванням території, виникненням пожеж.

*Рекреаційний пункт "Анютине джерело" та "Юрково"* характеризуються такими видами антропогенного навантаження, як розведення багаття, виїзду ґрунту, знищення рослин, збір грибів, відлякування тварин, збільшення та спотворення під'їзних шляхів, засмічення, пошкодження чагарників і дерев.

*Рекреаційний пункт "Біля верби"* вирізняється засміченням берегів річки Савранка, оскільки він розташований поблизу водойми, що негативно впливає на якісний стан води річки, знижує здатність водної екосистеми до відновлення та зумовлює значне зменшення видової різноманітності.

Одним із перспективних напрямів розвитку парку є впровадження рекреаційних програм, що сприяють збереженню біорізноманіття та культурної спадщини регіону. Важливу роль у цьому може відіграти використання диких коней гуцульської породи, які мають значний потенціал для різних видів рекреаційної діяльності.

Туризм і рекреація на територіях національних природних парків базуються не лише на естетичному сприйнятті, а й на здатності природних екосистем підтримувати сприятливі умови для відпочинку та спілкування з природою. У цьому аспекті рекреація і туризм постають однією з форм екосистемних послуг, які в широкому розумінні забезпечують сталу взаємодію між природоохоронними цілями та соціально-економічними потребами. Загальну характеристику екосистемних послуг наведено в табл. 1.

У разі якщо завданням є ухвалення рішень щодо управління ландшафтом для надання еко-

Таблиця 1

## Екосистемні послуги НПП "Кармелюкове Поділля"

| Група екосистемних послуг | Особливості надання екосистемних послуг                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Забезпечувальні           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• продовольство, сировина, прісна вода, ґрунти й інші матеріальні блага, вартість яких можна визначити в грошовому еквіваленті;</li> <li>• грамотне використання цієї групи послуг є важливим вікном можливостей для кожної з громад;</li> <li>• окремі особи можуть мати прибуток від обмеження доступу до користування цими послугами або ж надавати інфраструктурні послуги;</li> <li>• створення попиту на товари, продукти й вироби з природних матеріалів є опосередковано свідомим використанням послуг екосистем</li> </ul> |

Закінчення таблиці 1

| Група екосистемних послуг | Особливості надання екосистемних послуг                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Регулювальні              | <ul style="list-style-type: none"> <li>регуляція клімату, погодних умов, якість повітря, якість і кількість прісної води, формування ґрунтів, запилення рослин і велика кількість процесів, які умовно можна назвати “природним балансом”;</li> <li>ці послуги екосистем оберігають наше життя від стихійних лих і змін у довкіллі, які могли б зробити його непридатним для життя;</li> <li>користування послугами цієї групи не призводить до їх втрати або зменшення</li> </ul>                                                                      |
| Культурні                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>нематеріальні вигоди й блага, які ми отримуємо від природи: можливість відпочинку, духовного збагачення, натхнення для творчості, отримання наукових знань, формування ідентичності соціальних та етнічних груп;</li> <li>користування цією групою екосистемних послуг є свідомим, але всі вони нематеріальні, тому оцінити їх вартість неможливо;</li> <li>користування такими послугами зазвичай не призводить до виснаження самих екосистем, а їх популяризація може покращити якість життя громад</li> </ul> |
| Підтримувальні            | <ul style="list-style-type: none"> <li>глобальні процеси формування атмосфери, кліматичних зон, колообіг речовин у природі;</li> <li>через відсутність економічної оцінки таких нематеріальних екосистемних послуг більшість людей суто ресурсно сприймають користь від створення національного парку або від збереження певної території невирубанною або незабудованою</li> </ul>                                                                                                                                                                     |

Джерело: розроблено авторами.

системних послуг у різних масштабах, корисним критерієм для класифікації екосистемних послуг є їхні просторові характеристики. Цей підхід використано у Водній та Оселищній директивах ЄС, з урахуванням просторово-часових характеристик природних систем у політичних рішеннях. Така класифікація може містити такі категорії: *in situ* — послуги надаються і вигоди реалізуються в тому самому місці; не спрямовані — послуги надаються в одному місці, але приносять користь навколишньому ландшафту без визначеного напрямку (запилення, захист від

повеней); спрямовані — коли надання послуг приносить користь у певному місці завдяки напрямку потоку.

Для оцінки сучасного стану та рівня збереженості природних екосистем НПП “Кармелюкове Поділля” виконано SWOT-аналіз (табл. 2).

Проведений аналіз є основою для побудови ситуаційної моделі НПП “Кармелюкове Поділля” (рис. 1), що сприяє обґрунтуванню планування, підвищенню ефективності менеджменту та вибору оптимальних стратегій розвитку.

Таблиця 2

## SWOT-аналіз сучасного стану екосистем НПП “Кармелюкове Поділля”

| Сильні сторони                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Слабкі сторони                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>біорізноманіття представлене широким спектром видів, серед яких є представники з циркумнеморальним, євразійським, європейським, європейсько-сибірським, середньоевропейським, субсередземноморським типами ареалів;</li> <li>велике соціологічне значення: серед визначених видів — 29 видів рослин і 29 видів тварин, занесених до Червоної книги України;</li> <li>визначений ряд рідкісних видів, які охороняються на місцевому рівні;</li> <li>близько 60% лісів — природного походження;</li> <li>розроблена мережа екологічних стежок, екскурсій, прогулянкових маршрутів</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>щорічна вирубка лісів сягає понад 500 га на рік; крім того, спостерігаються повільні темпи відновлення лісових культур;</li> <li>тиск на природні екосистеми внаслідок діяльності людини: браконьєрства, спалювання сухостою, формування сміттєзвалищ;</li> <li>разом із розвитком екологічного туризму відбувається рекреаційне навантаження туристів і відвідувачів на природоохоронну територію;</li> <li>зникнення степових та рідкісних видів внаслідок неефективних заходів, зокрема терасування;</li> <li>поширення фітоінвазій</li> </ul> |

Закінчення таблиці 2

| Можливості                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Загрози                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>високий потенціал розширення парку на понад 5,5 тис. га;</li> <li>активний розвиток екологічного туризму;</li> <li>створення й популяризація нових туристичних маршрутів, створених із метою просвітницької та освітньої діяльності;</li> <li>залучення грантових програм, міжнародної підтримки;</li> <li>залучення громад до заходів, метою яких є охорона природи;</li> <li>збереження цінного генофонду</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>для рослин: суцільна вирубка лісових масивів, випасання сільськогосподарських тварин, рекреаційне навантаження, заготівля деяких видів як лікарської сировини, викошування, витоптування тощо;</li> <li>для тварин: осушування лісових земель, заготівля деревини, обробка середовища хімічними речовинами, цільове знищення (браконьєрство), випалювання сухостою тощо;</li> <li>кліматичні зміни, поширення інвазійних видів;</li> <li>потенційна загроза руйнування цілісності природних екосистем унаслідок бойових дій, розривів боєприпасів;</li> <li>посилення навантаження на природні екосистеми у зв'язку з інтенсифікацією рекреаційної діяльності;</li> <li>фрагментація середовищ існування;</li> <li>нестача кадрів</li> </ul> |

Джерело: розроблено авторами.

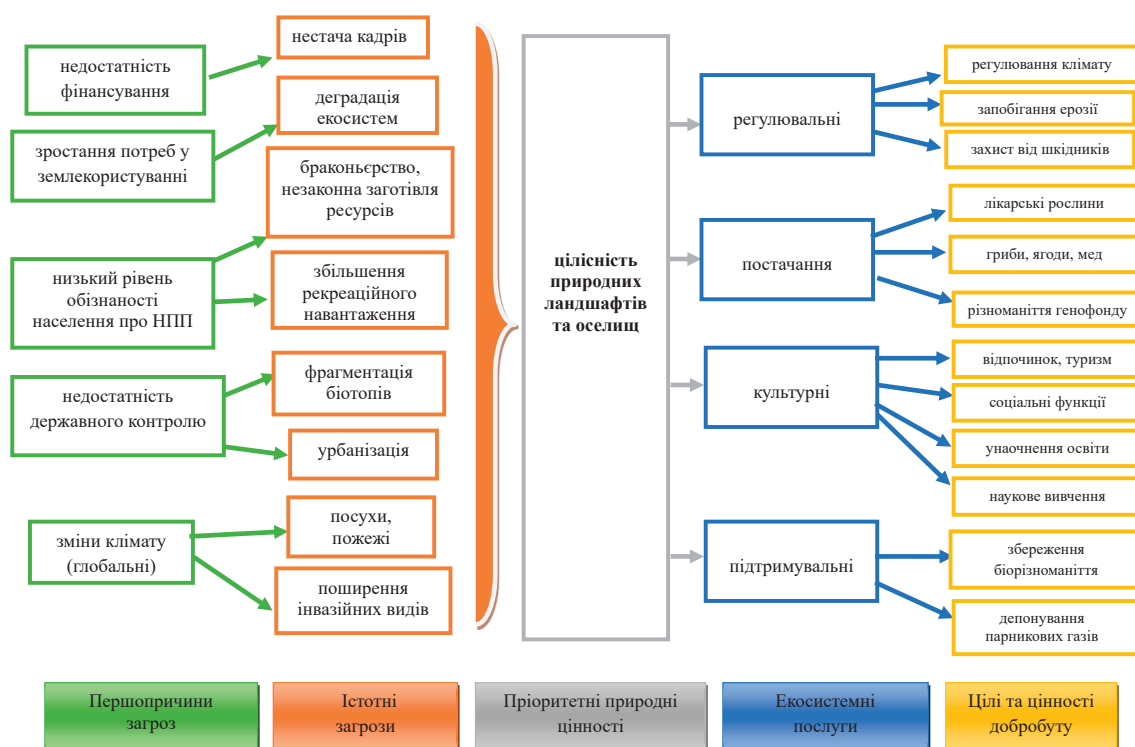


Рис. 1. Ситуаційна модель НПП "Кармелюкове Поділля"

Джерело: розроблено авторами.

У межах діяльності НПП має бути забезпечене проведення комплексу заходів, спрямованих на запобігання знищенню або пошкодженню природних ландшафтів, природних рослинних угруповань, включених до Зеленої книги України, збереження видів тварин і рослин, занесених до Червоної книги України, ство-

рення належних умов для їх розмноження та розселення в природному середовищі.

До загальних заходів можуть належати такі:

- здійснення наукової діяльності в межах НПП, підвищення рівня екологічної освіти місцевого населення;

- встановлення норм антропогенного навантаження;
- організація фонових екологічних моніторингу, прогнозування змін екосистем із використанням ГІС-систем і засобів дистанційного зондування;
- проведення оцінки сучасного стану природних ландшафтів;
- виконання інвентаризації природних комплексів і їхніх компонентів;
- здійснення контрольованих заходів менеджменту лучно-степових, водно-болотних і лісових екосистем, зокрема контрольований випас і сінокосіння, видалення самосівів, контроль за поширенням інвазійних видів, розрідження чагарників, контрольований випал сухоостою тощо;
- пошук перспективних територій для створення нових об'єктів природно-заповідного фонду;
- опрацювання практичних засад менеджменту екосистем заповідної території тощо.

Менеджмент природних екосистем у межах НПП “Кармелюкове Поділля” забезпечить збереження та відтворення біотичного й ландшафтного різноманіття та сприятиме:

- дотриманню екологічної рівноваги;
- створенню більш екологічно безпечних і сприятливих умов для життя та розвитку людини в регіоні;
- запобіганню безповоротній втраті частини гено- і ценофонду, екосистем і ландшафтів Гайсинського р-ну Вінницької обл. як центральної частини Правобережного Лісостепу України;
- забезпеченню збалансованого природокористування;
- розвитку ресурсної та рекреаційної бази для екологічного туризму, відпочинку й оздоровлення населення;
- ренатуралізації земельних угідь, що вилучаються із сільськогосподарського використання;
- посиленню узгодженості діяльності органів виконавчої влади, місцевого самоврядування, громадських організацій природоохоронного спрямування у вирішенні частини екологічних проблем.

## ВИСНОВКИ

Під час дослідження визначено основні Цілі сталого розвитку, реалізація яких є найефективнішою за умов комплексного управління

охоронними екосистемами НПП “Кармелюкове Поділля”. Доведено, що інтеграція природоохоронних, освітніх, рекреаційних і соціально-економічних функцій парку сприяє збереженню біорізноманіття та підвищенню екологічної цінності природних ландшафтів регіону.

Висвітлено процес становлення та розвитку еколого-освітніх програм, рекреаційних і туристичних маршрутів як складових сучасної екологічної політики та інструментів формування екологічної культури населення.

У межах парку працівники реалізують екологічні ініціативи та освітні проєкти, спрямовані на підвищення рівня екологічної свідомості юних дослідників шляхом залучення дітей і молоді до діяльності екологічної школи та дослідницьких заходів.

Проаналізовано роль екологічного туризму в забезпеченні сталого використання природних ресурсів, зокрема через функціонування та розвиток екологічних стежок “Вишенька”, “Пізнай і збережи”, “Природа — не смітник”, “Книга природи НПП “Кармелюкове Поділля”” та ін. Проаналізовано значення рекреаційних пунктів “Криниця Лотоцького”, пункту на стежці “Вишенька”, “Анютине джерело”, “Юрково”, “Біла верба” як елементів збалансованого рекреаційного навантаження та просторової організації території парку.

Обґрунтовано, що взаємодія суспільства й природних екосистем нерозривно пов'язана з наданням екосистемних послуг, які в широкому розумінні гарантують підтримання екологічної рівноваги та поліпшення якості життя.

На основі проведеного дослідження виконано SWOT-аналіз, що дало змогу оцінити сучасний стан екосистем, слабкі та сильні сторони, потенціал і можливі загрози в контексті реалізації екосистемних послуг.

Отримані результати стали підґрунтям для побудови ситуаційної моделі, де визначено ключові чинники деградації екосистем, пріоритетні природні цінності, спектр можливих екосистемних послуг та основні цінності добробуту.

Розроблено комплекс заходів, спрямованих на вдосконалення менеджменту охоронних екосистем та оптимізацію функціональних зон НПП “Кармелюкове Поділля”, який створює передумови для ефективної реалізації цілей сталого розвитку Східного Поділля та може бути використаний як практичний інструмент планування природоохоронної діяльності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Любинський, О., Любінська, Л., Пучка, О., Якубаш, Р., & Яцемірська, Н. (2024). Генетичні аспекти збереження лісових екосистем НПП “Подільські Товтри” у контексті сталого розвитку. *Біологія та екологія*, 10(2), 74–81. doi: 10.33989/2024.10.2.323732

2. Тесленко, К. А., & Анісімова, С. В. (2024). Досвід зарубіжних країн з визначення економічного механізму плати за екосистемні послуги. У *Матеріалах 86-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету: Секція кафедри екології* (с. 80–84). Харків: ХНАДУ.
3. Мудрак, О. В., & Антонюк, Ю. П. (2025). Менеджмент охоронних екосистем як складова для реалізації цілей сталого розвитку. У О. Параска, Н. Радек, Я. Петрашек та ін. (Ред.), *Innovative technologies and materials for industry and environment* (с. 144–146). Хмельницький: ХНУ.
4. Магдійчук, А. П. (2025). Екосистемні послуги кар'єрно-відвальних комплексів Центрального Поділля. У *VIN SMART ECO* (с. 244–245). Вінниця: ТОВ “ТВОРИ”.
5. Будякова, О. (2025). Екосистемні послуги та стала біоекономіка. У *Методологія сучасних наукових досліджень* (с. 159–163). Харків: ХНПУ імені Г. С. Сковороди. doi: 10.5281/zenodo.15807968
6. Безлатня, Л. О., Матківський, М. П., & Лозінська, Т. П. (2024). Біорізноманіття як основа екосистемних послуг: оцінка, збереження та відновлення. *Таврійський науковий вісник*, 135(1), 12–19. doi: 10.32782/2226-0099.2024.135.1.2
7. Сафранов, Т. А., Чугай, А. В., & Ільїна, В. Г. (2023). Екосистемні послуги водно-болотних угідь Одеської області. *Вісник Уманського національного університету садівництва*, 1, 84–93. doi: 10.32782/2310-0478-2023-1-84-93
8. Потоцька, С. О. (2024). Інвентаризація та оцінка екосистемних послуг багатовікових дерев міста Чернігова з використанням інструменту I-Tree Eco. *Український журнал природничих наук*, 8, 58–67. doi: 10.32782/naturaljournal.8.2024.6
9. Оливко, О. А., Царик, Л. П., & Царик, П. Л. (2025). Оцінювання екосистемних послуг урочища “Червоне” НПП “Дністровський каньйон”. У *Global trends in the development of educational systems* (pp. 50–56). Bergen: International Science Group.
10. Наконечний, І. В., Грушина, О. Г., & Миропольський, І. Л. (2025). Екологічні характеристики та екосистемні послуги озера Сомитське (НПП “Пуща Радзивіла” Рівненська обл.). *Агроекологічний журнал*, 3, 20–31. doi: 10.33730/2077-4893.3.2025.340775
11. Дубина, Д. В., Устименко, П. М., Вакаренко, Л. П., & Дацюк, В. В. (2024). Екосистемні послуги лісоземуг України: класифікаційна схема, проблемні питання та шляхи розв'язання. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: “Агрономія і біологія”*, 1(55), 71–77. doi: 10.32782/agrobio.2024.1.10
12. Корогода, Н. П. (2024). Оцінка ефективності зелених зон у збереженні біорізноманіття (на прикладі міських ландшафтів Києва). *Ландшафтознавство*, 5(1), 56–66. doi: 10.31652/2786-5665-2024-5-56-66
13. Жук, А. В. (2024). Кліматорегулювальні екосистемні послуги лісів Чернівецької області на градієнті ландшафтних умов. *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(2), 61–68. doi: 10.36930/40340208
14. Шелешей, Т. В., & Гончаренко, М. О. (2025). Вплив енергетичних систем на екосистемні послуги: виклики та стратегічні напрямки розвитку. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Сер.: Технічні науки*, 36(75), 3, 187–192. doi: 10.32782/2663-5941/2025.3.1/24
15. Шведюк, Ю. (2022). Концептуальні засади менеджменту природно-заповідних територій. *Вісник економіки*, 2, 34–44. doi: 10.35774/visnyk2022.02.034
16. Гавриш, Л. М. (2022). Організація рекреаційної та еколого-освітньої діяльності в НПП “Синьогора”. У *Перші Зимові читання в Синьогорі* (с. 50–54). Стара Гута: НПП “Синьогора”.
17. Бабинець, А. В., Шведюк, Ю. В., & Ярош, О. А. (2025). Програма екосистемного менеджменту в основі розвитку туризму та рекреації Карпатського регіону. У *Forestry contribution to the European Green Deal: bridges between EU and Ukrainian educational practices* (pp. 192–195). Харків: Державний біотехнологічний університет.
18. Кульчицька, Е. А., & Соломчак, С. О. (2025). Інноваційні підходи маркетингу сталого розвитку в національних парках. *Проблеми економіки*, 3(65), 357–364. doi: 10.32983/2222-0712-2025-3-357-364
19. Миронов, Ю. Б., Свидрук, І. І., & Козлова, В. М. (2025). Креативне управління розвитком туризму на природоохоронних територіях: стратегії, управлінські рішення та цифрові технології. *Економіка та суспільство*, 76. doi: 10.32782/2524-0072/2025-76-59
20. Жилішич, Ю., Кректун, Б., Візінгер, Г., Хірівський, П., Саламаха, І., Панас, Н., Германович, О., & Корінець, Ю. (2025). Роль природоорієнтованих екорекреаційних практик у збереженні екотуристичного та біотичного потенціалу НПП “Бойківщина”. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Сер.: Агрономія*, 29, 44–51. doi: 10.31734/agropomy2025.29.044
21. Тихомирова, Т. С., Новожилова, Т. Б., Місик, Я. Т., Крючкова, В. В., & Чікірякін, К. В. (2025). Створення локального бренду як елемент сталого управління природоохоронними територіями. *Екологічні науки*, 2(59), 355–359. doi: 10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.53
22. Воронін, В. О., & Бурченко, С. В. (2025). Оцінка втрати рекреаційних екосистемних послуг внаслідок воєнних дій в Харківській області (на прикладі НПП “Дворічанський”). У *Охорона довкілля* (с. 102–104). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна.
23. Луцан, М. М., & Германович, О. М. (2025). Втрати екосистемних послуг в умовах війни: наслідки та шляхи відновлення. У *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* (с. 174). Київ: Яроченко Я. В.
24. Літопис природи НПП “Кармелюкове Поділля”. Том X: 2022. (2023). Чечельник: НПП “Кармелюкове Поділля”.
25. Літопис природи НПП “Кармелюкове Поділля”. Том XI: 2023. (2024). Чечельник: НПП “Кармелюкове Поділля”.
26. UNDP Україна. (б. д.). *Цілі сталого розвитку*. Взято з <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku>

## MANAGEMENT OF NATURAL ECOSYSTEMS OF THE KARMELIUKOVE PODILLIA NATIONAL NATURE PARK TO ACHIEVE THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS OF THE EASTERN PODILLIA REGION

**Mudrak O.**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor  
Public Higher Educational Establishment "Vinnytsia Academy of Continuing Education"  
(Vinnytsia, Ukraine)  
e-mail: ov\_mudrak@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>

**Demyanyuk O.**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,  
Corresponding Member of NAAS  
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)  
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>

**Mahdiichuk A.**

Doctor of Philosophy in Ecology  
Khmelnytskyi National University (Khmelnytskyi, Ukraine)  
e-mail: mahdiichuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6719-2148>

**Antoniuk Yu.**

Postgraduate Student  
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)  
e-mail: yuraantoniuk22@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3257-0843>

*This article analyzes the management of protected ecosystems of the Karmeliukove Podillia National Nature Park (NNP) in the context of implementing the Sustainable Development Goals and providing ecosystem services of the Eastern Podillia region. The territory of the park is an important center for biodiversity, preserving the natural landscapes of Eastern Podillia and combining environmental protection, ecological education, and recreational functions, which necessitates the use of integrated approaches to ecosystem management. The formation and development of ecological education programs, recreational and tourist routes were analyzed as components of modern environmental policy within the NNP. It has been established that the implementation of environmental initiatives, the activities of an ecological school, and educational projects contribute to the formation of environmental awareness among the population and the involvement of young people in environmental protection activities. The network of ecological trails and recreational sites was characterized. In particular, the following routes were identified: "To the Clean Sources of Podillia", "Romashkovo", "Traveling with the Karmeliukove Podillia National Nature Park", "Visiting the Neighbors", "Cheerful Malanka", "The Lost World", "The Lost World 2", "Reserved Places of the Karmeliukove Podillia National Nature Park", "Come with Us". Among the ecological-educational and ecological-cognitive trails, the following were identified: "Discover and Preserve", "Vyshenka", "Paths of Partisan Glory", "The Book of Nature of the Karmeliukove Podillia National Nature Park", "Nature Is Not a Trash Can", "Apiary", "Iporelax", "Cubes" which serve as elements of the sustainable development of ecological tourism. Among the recreational sites within the national park, the following were identified (taking into account anthropogenic load): the hydrological natural monument of local importance "Try Krynytsi" and the recreational sites on the ecological trail "Vyshenka", "Krynytsia Lototskogo", "Aniutyne Dzherelo", "Yurkovo", and "Bilia Verby". The role of ecosystem services — supporting, cultural, provisioning, and regulating — was substantiated in ensuring the sustainable functioning of natural ecosystems and harmonizing environmental protection goals with the socio-economic needs of the region. Based on the SWOT analysis, the current state of the ecosystems of the NNP was assessed, strengths and weaknesses were identified, opportunities, and threats were determined. A situational management model has been developed, which helps substantiate planning, improve management efficiency, and choose optimal development strategies. The root causes and significant threats to natural ecosystems have been identified; priority natural values and basic ecosystem services, and well-being values and goals have been highlighted. A set of measures for the management of natural ecosystems and the optimization of the functional zoning of the Karmeliukove Podillia National Nature Park has been developed, aimed at implementing the goals of sustainable development of Eastern Podillia.*

**Keywords:** ecosystem services, ecological tourism, recreation, protected area, SWOT analysis, situational model.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**МУДРАК Олександр Васильович** — доктор сільськогосподарських наук, професор, КЗВО "Вінницька академія безперервної освіти" (вул. Грушевського, 13, м. Вінниця, Україна, 21050; e-mail: ov\_mudrak@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>).

**ДЕМ'ЯНЮК Олена Сергіївна** — доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: demolena@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>).

**МАГДІЙЧУК Анна Петрівна** — доктор філософії з екології, старший викладач кафедри хімії та хімічної інженерії, Хмельницький національний університет (вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016; e-mail: mahdiichuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6719-2148>).

**АНТОНЮК Юрій Петрович** — аспірант, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: yuraantoniuk22@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3257-0843>).

## Новини

### Новини

## Новини • Новини • Новини

**Мікропластик і здоров'я людини: нові дані 2025 року.** Науковці з Університету Нью-Мексико виявили, що мікропластик долає гематоенцефалічний бар'єр і накопичується в мозку — його вага становить ~0,5% від маси мозку (еквівалент пластикової ложки). Дослідники проаналізували тканини мозку людей, померлих у різні роки: чим далі від сьогодення, тим менше мікропластику було знайдено. У людей із деменцією кількість мікропластику у мозку у 3–5 разів перевищує показник здорових осіб; італійські вчені встановили зв'язок між наявністю часток в артеріях і підвищеним ризиком інсульту, інфаркту або смерті впродовж трьох років. Основні фактори підвищеного надходження: нагрівання їжі в пластиковому посуді та споживання високооброблених продуктів.

## ФЛУОРЕСЦЕНТНЕ ТЕСТУВАННЯ БУКА ЄВРОПЕЙСЬКОГО В НАЦІОНАЛЬНОМУ ПРИРОДНОМУ ПАРКУ “ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ”

**В. І. Мокрий**

доктор технічних наук, професор

Національний університет “Львівська політехніка” (м. Львів, Україна)

e-mail: volodymyr.i.mokriy@lpnu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5814-5160>

**Е. М. Арустамян**

здобувач

Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)

e-mail: plantprotect\_dean@nubip.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-2909>

**В. І. Бондарь**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)

e-mail: plantprotect\_dean@nubip.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-3568>

**І. Я. Казимира**

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет “Львівська політехніка” (м. Львів, Україна)

e-mail: iryna.y.kazymyra@lpnu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1597-5647>

**Г. П. Паньковська**

кандидат сільськогосподарських наук

Національний природний парк “Північне Поділля” (м. Броди, Україна)

e-mail: park\_pp@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6620-7408>

Досліджено флуоресцентні параметри бука європейського в лісових угрупованнях Національного природного парку (НПП) “Північне Поділля”. Обґрунтовано науково-практичне значення аналізу флуоресцентних параметрів для комплексного моніторингу стану лісових екосистем. Актуальність моніторингових досліджень стану дендрофлори зумовлена необхідністю формування базового рівня екологічних даних для оцінки стану й динаміки екосистем парку. Проведено рекогносцирувальні обстеження лісових насаджень, виміряно інтенсивність флуоресценції різновікових дерев, які зростають у різних лісоекологічних умовах. На основі числових характеристик динаміки інтенсивності флуоресценції розраховано індекс життєвості дерев, індикаторні показники впливу екзогенних та ендогенних чинників. Максимальне значення індексу життєвості зафіксовано для старовікових дерев, що зумовлено оптимальними умовами освітленості й місцезростання. У піднаметових дерев підросту внаслідок зменшення освітленості спостерігається зниження значень індексу життєвості, що відображає зниження потенціальної активності фотосинтетичного апарату рослин. Визначено зміни індексу життєвості дерев у різних типах умов місцезростання. Фіксоване зменшення індексу життєвості дерев зумовлене порівняно меншою родючістю ґрунту й забезпеченістю вологою, відображає стресову адаптованість фізіологічних функцій рослин до різних екологічних умов і є основною причиною інактивації фотосинтезу. За результатами флуоресцентного тестування й біоінформативного аналізу визначено фізіологічний стан та адаптивний потенціал бука європейського в межах НПП “Північне Поділля”. Отримані дані щодо змін флуоресцентних параметрів дерев підтверджують чутливість фотосинтетичного апарату до впливу екологічних факторів, а також доцільність вибору бука європейського як тест-об’єкта для оцінки едафічних і гідрогеологічних умов території. Встановлено, що застосування флуоресцентного методу є перспективним під час контролю санітарного стану насаджень, оскільки забезпечує визначення інтегрального наукоємного параметра — індексу життєвості дерев. Обґрунтовано практичне використання сучасних методів флуоресцентного експрес-тестування рослинності, які забезпечують кореляційний синтез фотобіологічних механізмів фотосинтезу й графоаналітичної інформації, що є необхідним під час створення інформаційно-діагностичних систем для комплексного моніторингу екосистем, збереження біорізноманіття та охорони флористичного генофонду природно-заповідних територій.

**Ключові слова:** моніторинг, біоінформатика, екосистема, індекс життєвості, фізіологічний стан, адаптивний потенціал, фотосинтез.

## ВСТУП

Сучасні екологічні виклики, зумовлені кліматичними змінами, техногенним навантаженням і деградацією природних екосистем, потребують нових методів моніторингу стану лісових масивів. Одним із перспективних інструментів є інформаційна технологія флуоресцентного тестування, яка дає змогу швидко й безконтактно оцінювати фізіологічний стан дерев і підліску. Актуальність моніторингових досліджень стану дендрофлори об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) зумовлена необхідністю формування базового рівня екологічних даних для оцінки стану й динаміки екосистем.

Бук європейський (*Fagus sylvatica* L.) є ключовою лісотвірною породою в екосистемах Подільського горбогір'я та становить основу біорізноманіття Національного природного парку “Північне Поділля”. Букові ліси виконують важливі екологічні функції: регулюють водний баланс, стабілізують ґрунти, накопичують вуглець і підтримують високу різноманітність флори і фауни. У зв'язку із цим стан букових насаджень безпосередньо визначає рівень екологічної стабільності регіону. Однак сучасні кліматичні зміни, зокрема підвищення середньорічних температур і зниження кількості опадів, посилюють ризики деградації букових екосистем. Бук європейський вразливий до абіотичних стресів, особливо до посух і перегрівання, а також до антропогенних впливів (забруднення повітря та ґрунтів, рекреаційне навантаження). Це зумовлює потребу у впровадженні сучасних методів діагностики фізіологічного стану деревних насаджень. Перспективним методом, що забезпечує виявлення змін у функціонуванні фотосинтетичного апарату рослин під впливом абіотичних та біотичних факторів довкілля, є метод фотоіндукції флуоресценції хлорофілу, відомий як ефект Каутського [1].

Діагностика впливу природних і антропогенних факторів на функціональний стан рослин потребує застосування експресних та інформативних методів. Вимірювання флуоресценції широко використовують у сучасних дослідженнях фотосинтетичних процесів і фізіології стресу в умовах глобальних змін навколишнього середовища [2]. Відомо, що зміни функціональної активності фотосинтетичного апарату позначаються безпосередньо на ефективності фотосинтетичних процесів і, відповідно, на продуктивності рослин [3]. Флуоресценція має тісний зв'язок із процесом фотосинтезу, що дає змогу за змінами параметрів флуоресценції швидко й неінвазивно оцінити стан та активність фотосинтетичного апарату [4]. Реєстрація флуоресценції та аналіз її параметрів забезпечують ефективне тестування стійкості

рослин до умов середовища й автоматизацію вимірювань електронно-конформаційних станів фотосинтетичного апарату.

Незважаючи на широке використання, залишаються проблеми щодо інтерпретації даних за мінливості навколишнього середовища та інтеграції з багатопараметричними моделями оцінки й прогнозування біопродуктивності дендрофлори лісових насаджень територій природно-заповідного фонду.

Важливим аспектом збалансованого природокористування є збереження біологічного й ландшафтного різноманіття. Основним завданням щодо його відтворення є створення та оптимізація природно-заповідних територій і об'єктів відповідно до структури просторових елементів екологічної мережі. Тому особливого значення та актуальності набувають моніторингові дослідження об'єктів і територій ПЗФ як основних структурних елементів екологічної мережі.

**Метою роботи** є обґрунтування науково-практичного значення аналізу флуоресцентних параметрів бука європейського в насадженнях НПП “Північне Поділля” шляхом застосування біоінформаційних технологій для комплексного моніторингу лісових екосистем парку. Дослідження передбачають рекогносцирувальні обстеження насаджень і лабораторні вимірювання флуоресцентних параметрів рослин для формування соціологічної бази даних.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Протягом останнього десятиліття спостерігається тенденція до підвищення оперативності, точності й надійності визначення функціонального стану рослин шляхом упровадження методичного, математичного, метрологічно-інструментального та апаратно-програмного забезпечення, що є основою інформаційно-вимірювальних систем моніторингу санітарного стану рослинності.

У численних попередніх і сучасних працях [1–4] та інших публікаціях представлено дослідження флуоресцентних параметрів для використання як у фундаментальних, так і в прикладних науках про рослини. Розуміння фізіологічних основ, методів вимірювання й прикладного значення флуоресцентних характеристик різних рослинних систем застосовано для оцінки реакцій рослин на широкий спектр біотичних та абіотичних стресів, а також для діагностики сільськогосподарських культур і екологічного моніторингу. У статті N. R. Baker та ін. продемонстровано, що флуоресцентні індикатори забезпечують високу повторюваність і добре корелюють із біомасою та компонентами

врожайності агротехнічних культур [5]. Дослідження сої показало, що помірна та сильна посуха призвела до значного зниження  $F_v/F_m$  — флуоресцентного індикатора впливу екзогенних чинників (до 63,9%), а також до збільшення накопичення NPQ (Non-Photochemical Quenching) й активних форм кисню, що відображає фотоінгібування та оксидантне пошкодження фотосинтетичного апарату [6]. У пшениці й нуту зниження флуоресцентних параметрів, спричинене посухою, корелювало зі зниженням біомаси та врожайності, що робить цей параметр цінним для раннього виявлення стресу й селекції культур [7]. У роботі А. Bhardwaj та ін. фенотипування  $F_v/F_m$  разом з індексами теплових пошкоджень використовували для скринінгу термотолерантних генотипів продовольчих культур, що підкреслює його корисність у селекційних програмах, спрямованих на стійкість до теплового стресу [8]. Спостережувана кореляція між даними флуоресцентного тестування та індексами фізіологічного стресу підтверджує його використання в агрономічному управлінні в режимі реального часу й системах раннього попередження про стрес [9]. У [10] показано, що  $F_v/F_m$  у поєднанні з фізіологічними і спектральними ознаками може ефективно ранжувати генотипові реакції на стрес унаслідок засолення. Це застосування на рівні генотипу поширилося також на рослини угруповання дикорослих видів і багаторічні культури, пропонуючи масштабований інструмент для скринінгу генетичних ресурсів на стійкість до змін клімату.

Флуоресцентне тестування лісових екосистем має особливе значення, оскільки флуоресцентні параметри все частіше визнаються не лише діагностичними показниками стресу, а й критичними показниками для кількісної оцінки ефективності фотосинтезу в дослідженнях вуглецевого циклу. Як міра максимальної квантової ефективності фотосистеми II (ФС II), параметр  $F_v/F_m$  безпосередньо пов'язаний зі здатністю рослинності перетворювати поглинене світло на хімічну енергію [11], що робить його актуальним для оцінок асиміляції вуглецю, таких як валова первинна продукція GPP (Gross Primary Production) і чистий екосистемний обмін NEE (Net Ecosystem Exchange). Ці взаємозв'язки особливо важливі в кліматично чутливих екосистемах, таких як бореальні ліси [12], савани [13] й торфовища Рамсарської конвенції [14], де раннє виявлення стресу може допомогти в адаптивному управлінні лісовими ресурсами.

Створення динамічного флуориметра започаткувало флуоресцентний моніторинг дендрофлори урбоекосистеми м. Львова [15–17]

й лісових екосистем ПЗФ у межах Шацького НПП [18], Природного заповідника “Медобори” [19], НПП “Північне Поділля” [20]. Використовуючи флуоресцентне тестування та аналіз пігментного комплексу за вмістом хлорофілів “а”, “b” і каротиніодів “с” листяних і хвойних дерев еколого-фітоценотичних поясів, досліджено зниження потенційної активності фотосинтетичного апарату внаслідок впливу урбанізованого міського середовища, а також морфофізіологічний стан головних лісотвірних порід і підліскових чагарників лісостанів території ПЗФ.

Розробка портативного флуорометра “Флоратест” державним науково-інженерним центром мікроелектроніки Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України [21] сприяла активізації флуоресцентних досліджень зелених насаджень міст України. На основі флуоресцентних вимірювань у працях [22–26] охарактеризовано фотосинтетичний апарат багатьох рослин урбанізованого міського середовища. За результатами аналізу змін флуоресцентних параметрів визначено вплив умов місцезростання й генотипової специфічності чубушників [22], культиварів клена гостролистого [23], оцтового дерева та липи серцелистої [24; 25], інтродукованих видів сніжноягідників [26] у м. Києві. Флуоресцентними методами виявлено незначне погіршення функціонального стану дерев, що зростають уздовж транспортних шляхів, порівняно з деревами в насадженнях житлової забудови та парках м. Луцька [27]. У садівництві флуоресцентним методом діагностовано вірусну інфекцію смородини чорної та малини [28].

У зазначених та інших публікаціях виявлено високу чутливість параметрів індукції флуоресценції хлорофілу до уражень досліджених видів хворобами й шкідниками, до впливу несприятливих чинників та умов довкілля, особливостей генотипу рослинності антропогенізованого середовища й агротехнічних культур. Проте рослинність природоохоронних територій флуоресцентними методами досліджена недостатньо. В умовах кліматичних змін флора територій ПЗФ потребує біоінформативних технологій флуоресцентного моніторингу для раннього виявлення стресу, що може забезпечити адаптивне управління ресурсами та збалансоване природокористування.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Науковою основою застосування флуоресцентних методів діагностики стану рослин є біохімічні та біофізичні конверсійні механізми фотосинтезу. При освітленні рослини частина поглинутої енергії використовується у фото-

хімічних перетвореннях, частина розсіюється у вигляді тепла, а решта повторно випромінюється у вигляді флуоресценції. Флуоресценція, що випромінюється переважно хлорофілом "а" у ФС II, дає змогу зрозуміти функціонування та цілісність фотосинтетичного апарату як в оптимальних, так і в стресових умовах. Флуоресценція хлорофілу стала незамінним інструментом у фізіології рослин для оцінки стану й продуктивності фотосинтетичного апарату. Флуоресцентні методи ідентифікують зміни в фотосинтетичному апараті на основі взаємозв'язків між фотосинтетичним перетворенням енергії, регуляцією роботи фотосистем і флуоресценцією хлорофілу. У роботі [7] синтезовано сучасне розуміння фізіологічних основ, методів вимірювання та прикладного значення вимірювання флуоресцентних параметрів різних рослинних систем. Перевагами методу є висока чутливість, експресність і можливість діагностики в польових умовах.

Методологія досліджень передбачала рекогносцирувальні обстеження насаджень і лабораторні вимірювання флуоресцентних параметрів рослин [29]. Відбір зразків листя виконано з нижньої частини крони старовікових дерев і середньої частини крони підросту. Активність фотосинтетичного апарату рослин досліджено методом фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу. Перед вимірюванням листки адаптувалися до темноти протягом 3 хв. Кінетику інтенсивності флуоресценції листків вимірюють флуорометром "Флоратест". Дані з приладу передавали на комп'ютер, де інтерпретували програмою "Floratest" у MS Excel для графоаналітичної обробки інформації. Високе часове розділення приладу дає змогу проаналізувати кінетику наростання та спаду інтенсивності флуоресценції досліджуваних об'єктів за числовими характеристиками трьох показників. Фізіологічно значущі дані отримують на основі аналізу числових значень таких показників, як фонові флуоресценція ( $F_0$ ), максимальна флуоресценція ( $F_{\max}$ ) і стаціонарна флуоресценція ( $F_{\text{const}}$ ). За числовими значеннями інтенсивностей фонові, максимальної та стаціонарної флуоресценції розраховують коефіцієнти кінетики флуоресценції ( $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $R_{FD}$ ), які характеризують перебіг світлових фаз фотосинтезу й ефективність фотохімічних процесів засвоєння енергії світла, за формулами:

$$K1 = \frac{F_{\max} - F_0}{F_{\max}}; \quad (1)$$

$$K2 = \frac{F_{\max} - F_{\text{const}}}{F_{\max}}; \quad (2)$$

$$K3 = \frac{F_{\text{const}}}{F_{\max}}; \quad (3)$$

$$R_{FD} = \frac{F_{\max} - F_{\text{const}}}{F_{\text{const}}}. \quad (4)$$

На основі аналізу біофізичного змісту нормованих коефіцієнтів кінетики флуоресценції встановлено, що  $K1$  — індикаторний показник впливу екзогенних чинників;  $K2$  — коефіцієнт індукції флуоресценції, індикаторний показник квантового виходу флуоресценції;  $K3$  — індикаторний показник ендогенних чинників;  $R_{FD}$  — індекс життєвості, який визначає функціональний стан дерев. Статистичну достовірність зафіксованих відмінностей оцінювали за  $t$ -критерієм Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати досліджень полягають у визначенні фізіологічного стану та адаптивного потенціалу бука європейського (*Fagus sylvatica* L.) у межах НПП "Північне Поділля" шляхом застосування флуоресцентного тестування й біоінформативного аналізу для якісної оцінки біопродуктивності лісових екосистем і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій із моніторингу й збереження букових насаджень. Біоінформаційний аналіз флуоресцентних показників рослинності забезпечує інтерпретацію змін інтенсивності флуоресценції, які відображають стан фотосинтетичного апарату рослин. Отримані дані дають змогу визначити реакцію рослин на стрес, ефективність поглинання світла, активність фотосистеми й динаміку енергетичного обміну.

Показник  $F_0$  — фонове значення індукції флуоресценції після включення опромінення (рис. 1). Біофізичний зміст фонові флуоресценції відображає постійну складову флуоресценції, незалежну від фотохімічних реакцій. Фонові флуоресценція ( $F_0$ ) випромінюється молекулами хлорофілу, які входять до складу антенного комплексу (ФС II). Технічно  $F_0$  вимірюється в секундному діапазоні до ініціації первинних фотохімічних процесів, пов'язаних із відновленням  $Q_A$  — первинного акцептора електронів ФС II. Фоновому рівню відповідає мінімальний квантовий вихід флуоресценції. Показник  $F_{\max}$  — максимальне значення індукції флуоресценції. Біофізичний зміст максимальної флуоресценції відображає швидке заповнення пулу електронних ємностей на акцепторному боці ФС I, унаслідок чого відновлюються всі первинні акцептори ФС II і відбувається зростання інтенсивності флуоресценції до максимуму. Показник  $F_{\text{const}}$  — стаціонарне значення

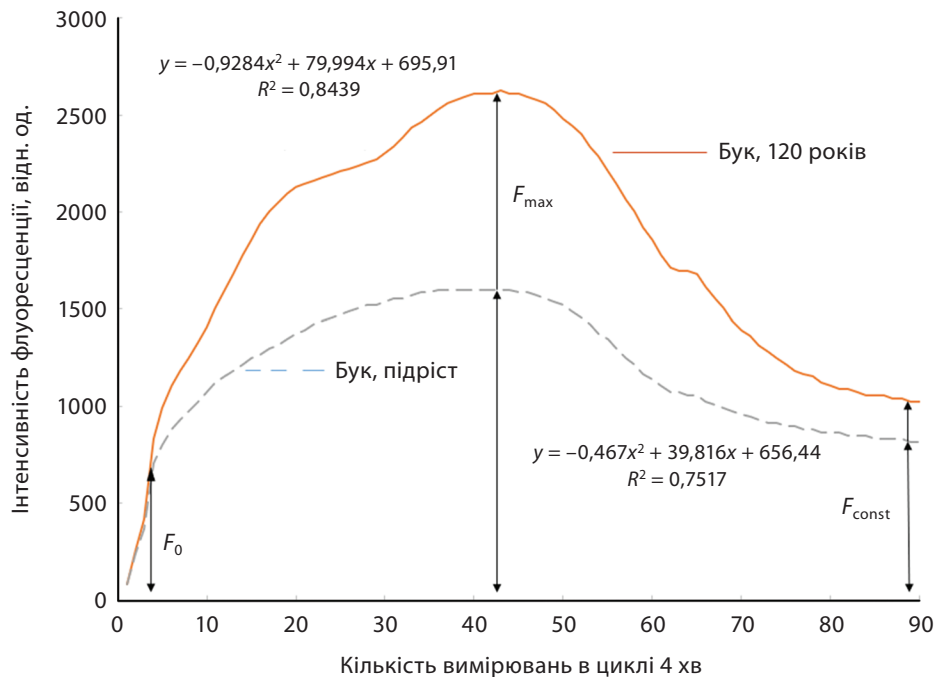


**Рис. 1.** Кінетика фотоіндукованої флуоресценції листків старовікових дерев і підросту бука європейського в урочищі “Триніг” на території НПП “Північне Поділля”

Джерело: виконано авторами на основі власних досліджень.

Примітка. На вставці: відповідні поліноміальні функції лінії тренду; величина достовірності апроксимації ( $R^2$ ).

індукції флуоресценції після світлової адаптації листка рослини. Біофізичний зміст стаціонарної флуоресценції відображає налагодження реакцій циклу Кальвіна й потоків речовин через мембрани та по судинах листка.

На підставі порівняльних вимірювань кінетики флуоресценції *in vivo* (рис. 1) визначено коефіцієнти кінетики флуоресценції (табл. 1) для оцінки загального стану різновікових дерев у типових умовах місцезростання. Форма цієї кривої досить чутлива до змін, які відбуваються у фотосинтетичному апараті рослин у різних умовах навколишнього середовища, що слугувало основою для широкого використання флуоресценції в дослідженні фотосинтезу й стресової адаптованості рослин. Виконано порівняльні дослідження флуоресцентних параметрів дерев у лісоекологічних умовах заповідних урочищ у межах НПП “Північне Поділля”, які відповідають двом різним типам умов місцезростання. Лісорослинні умови урочища “Триніг” ідентифікують як  $C_2$  — свіжі, середньої родючості ґрунти. Для урочища “Свята Гора” тип лісорослинних умов ідентифіковано як  $B_2$  — порівняно бідні ґрунтові умови, свіжий субір.

Індикаторний показник впливу екзогенних чинників ( $K1$ ) характеризується незначною варіабельністю (табл. 1). Його значення в межах 90–91% може свідчити про те, що рівень освітленості

досліджуваних зразків однаковий. Старовікові дерева (100–120 років) і підріст мають незначну інтенсивність  $F_0$ , у межах 832–704 відн. од., що у 2–3 рази менше, ніж в основному максимумі індукційної кривої ( $F_{max}$ ). Останнє вказує на незначну частку хлорофілу, який не бере участі у фотосинтезі. Встановлено, що параметр  $K1$ , який характеризує вплив екзогенних чинників, у цьому випадку — затіненість нижньої частини крони старовікових дерев і крони підросту, змінюється несуттєво, у межах 90–91% (табл. 1). Останнє вказує на значну стабільність світлової фази фотосинтезу щодо темнових фотохімічних процесів у нижній частині крони дерев лісостану й достатньо високий адаптивний потенціал підросту бука в умовах затіненості. Незначна варіабельність  $K1$  у межах 1% відображає вплив архітекtonіки крон на створення ідентичних умов освітленості різновікових дерев у різних умовах місцезростання.

Зміни коефіцієнта індукції флуоресценції ( $K2$ ) достатньо суттєві — у межах 5–18%. Цей індикаторний показник квантового виходу флуоресценції вказує на частку хлорофілів, що беруть участь у фотосинтезі, від загальної їхньої кількості, тобто характеризує ефективність світлової фази фотосинтезу. У досліджених варіантах  $K2$  варіює в межах 55–67%, що свідчить про високу частку активних хлорофілів у цих умовах зростання різновікових дерев. У цьому

Таблиця 1

**Нормовані параметри кінетики фотоіндукованої флуоресценції  
хлорофілу листків старовікових дерев і підросту бука європейського  
в заповідних урочищах НПП “Північне Поділля”**

| Коефіцієнти кінетики<br>флуоресценції | Урочище “Свята Гора”               |                 | Урочище “Триніг”                   |                 |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
|                                       | Буковий деревостан,<br>≈ 100 років | Бук,<br>підріст | Буковий деревостан, ≈<br>120 років | Бук,<br>підріст |
| K1                                    | 91                                 | 90              | 90                                 | 90              |
| K2                                    | 60                                 | 51              | 67                                 | 55              |
| K3                                    | 25                                 | 14              | 32                                 | 26              |
| R <sub>FD</sub>                       | 1,56                               | 0,96            | 2,03                               | 1,06            |
| Тип лісорослинних умов                | B <sub>2</sub>                     |                 | C <sub>2</sub>                     |                 |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

контексті K2 виступає чутливим індикатором фотоінгібування ФС II. З цього показника можна отримати значення ступеня фотоінгібування, оскільки значна частина енергії вивільняється у вигляді флуоресценції хлорофілу “a” в умовах, коли багато збуджених електронів від ФС II не переносяться на акцептор, а замість цього переходять назад в основний енергетичний стан. Порівняльний аналіз значень K2 (табл. 1) вказує на вплив умов місцезростання на ефективність функціонування ФС II. Локалізоване зменшення значень K2 на 5% в умовах C<sub>2</sub> та більш значуще — 9% в умовах B<sub>2</sub> ідентифікує дефіцит поживних речовин ґрунту для дерев підросту порівняно зі старовіковими деревами. Відносна бідність ґрунтових умов зумовлює зниження ефективності ФС II, що фіксується зменшенням значень K2 на 4% у дерев підросту й на 7% у старовікових дерев, які зростають в умовах B<sub>2</sub>.

Інформативність параметра K3 визначається пропорційністю розміру пулу акцепторів електронів Q<sub>A</sub> на відновній стороні ФС II і може бути використана як маркер змін кінетики флуоресценції від F<sub>max</sub> до F<sub>const</sub>. Повільна індукція флуоресценції фотосинтезуючих об'єктів полягає в зменшенні інтенсивності флуоресценції від максимального рівня до стаціонарного значення. Ендогенні чинники спаду інтенсивності пов'язані з початком активації циклу Кальвіна, при цьому збільшується циклічний потік електронів у фотосистему I (ФС I). На цій стадії відбувається сповільнення електронного транспорту між ФС у зв'язку зі встановленням протонного градієнта. На цій стадії продовжується структурна перебудова мембран і перехід частини світлозбираючого комплексу ФС II з області гран в область стром. Активація циклу Кальвіна знімає блокування нециклічного електронного потоку. Спостережувана загальна тен-

денція зниження K3 для дерев, що зростають в умовах B<sub>2</sub>, порівняно з деревами, що зростають в умовах C<sub>2</sub>, ідентифікує відносно погіршення ґрунтових умов. Значна варіабельність K3 у межах 14–32% характеризує швидкість флуоресценції, що є ознакою інтенсивного перебігу темнових фотохімічних реакцій та ідентифікує високу життєвість дерев у реальних умовах місцезростання.

Ступінь зниження рівня флуоресценції хлорофілу від максимального (F<sub>max</sub>) до стаціонарного (F<sub>const</sub>) часто використовують як інтегральний показник активності фотосинтетичного апарату рослин. Для цього розраховують коефіцієнт R<sub>FD</sub> (Fluorescence Decline Ratio), який означає відносне число електронів, яке було передано по електрон-транспортному ланцюгу. Величина R<sub>FD</sub> отримала також назву індексу життєвості [30; 31]. Згідно з [30], коефіцієнт R<sub>FD</sub> більш чутливий до зовнішніх впливів, ніж параметри K1, K2, K3, оскільки встановлена кореляція показника R<sub>FD</sub> з інтенсивністю фіксації вуглекислого газу. Величина R<sub>FD</sub> показує ефективність темнових фотохімічних процесів і стан фотосинтетичного апарату рослин. Значення індексу спаду флуоресценції залежить від виду рослин та умов зростання. Величина показників R<sub>FD</sub> ≥ 1,50–2,50 і більше вказує на високу квантову ефективність фотосинтезу, ідентифікує здорову рослину, що ефективно фотосинтезує. Зменшення значень R<sub>FD</sub> свідчить про зниження активності хлорофілу й погіршення стану рослини, зумовленого певним стресовим впливом.

Коефіцієнт R<sub>FD</sub> у досліджених варіантах старовікових дерев, навіть у різних лісорослинних умовах, перебуває у вищезазначеному інтервалі. Розраховані максимальні значення R<sub>FD</sub> свідчать про оптимальні умови місцезростання. Зниження індексу життєвості старовікових

дерев на  $\Delta R_{FD}=0,47$  та підросту на  $\Delta R_{FD}=0,1$  ідентифікує відносно погіршення лісорослинних умов. Зі зменшенням освітленості для піднаметових дерев фіксується зменшення значень  $R_{FD}$ , що свідчить про зниження потенціальної активності фотосинтетичного апарату дерев підросту. Значна варіабельність  $\Delta R_{FD}=0,97$  між старовіковими деревами і підростом в умовах  $C_2$  та  $\Delta R_{FD}=0,6$  у лісорослинних умовах  $B_2$  вказує на високу чутливість цього коефіцієнта до зовнішніх впливів.

Отже, визначені зміни  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $R_{FD}$  відображають стресову адаптованість фізіологічних функцій дерев до різних екологічних умов і є основною причиною інактивації фотосинтезу. Фіксоване зменшення нормованих коефіцієнтів кінетики флуоресценції зумовлене порівняно меншою родючістю ґрунту та освітленістю крон дерев.

Розроблене комплексне забезпечення флуориметричного експрес-методу і технічні пристрої використано для діагностики стану фотосинтетичного апарату рослин у природному середовищі. У режимі реального часу флуориметричні методи дають інформацію про стан фотосинтетичного апарату, ефективність фотосинтезу, а також добову й сезонну динаміку цих характеристик, які є біофізичними сенсорами стану природного середовища. Вони дають змогу детектувати пригнічення рослин під дією природних впливів, задовго до того, як воно проявиться в зовнішніх ознаках рослини — ксерофілізації або всиханні, з подальшою зміною просторово-структурних геоботанічних параметрів фітоценозів. У цьому полягає одна з

головних переваг застосування флуоресцентних експрес-методів екологічного моніторингу.

## ВИСНОВКИ

Флуоресцентне тестування є високоефективним методом кліматично адаптованого природокористування, що об'єднує цифрове лісове господарство, екологічне прогнозування та фізіологію стресу в умовах глобальних змін навколишнього середовища. Аналіз нормованих індукційних змін інтенсивності флуоресценції досліджуваних дерев підтверджує чутливість цих параметрів до впливу екологічних факторів, а також доцільність вибору бука європейського як тест-об'єкта для оцінки едафічних і гідрогеологічних умов території НПП “Північне Поділля”.

Подальші дослідження передбачають визначення флуоресцентних індикаторів флористичного різноманіття, формування соціологічної бази даних та інтеграцію з інваріантними моделями оцінки й прогнозування біопродуктивності дендрофлори природоохоронних територій. Математичні моделі кінетики флуоресценції забезпечують не лише механістичне розуміння стресових реакцій рослин, а й масштабований інструмент для інтерпретації та прогнозування динаміки вуглецю в екосистемах. Інтеграція фотобіологічних і фізіологічних вимірювань із моніторингом киснево-вуглецевого балансу забезпечує інформаційно-аналітичну основу для кліматично стійкого управління лісовими ресурсами, прогнозного моделювання стійкості екосистем, оцінки екосистемних послуг і збалансованого природокористування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Lichtenthaler, H. K. (1992). The Kautsky effect: 60 years of chlorophyll fluorescence induction kinetics. *Photosynthetica*, 27, 45–55.
2. Cavender-Bares, J., & Bazzaz, F. A. (2004). From leaves to ecosystems: Using chlorophyll fluorescence to assess photosynthesis and plant function in ecological studies. In G. C. Papageorgiou & Govindjee (Eds.), *Chlorophyll a fluorescence* (Vol. 19). Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-3218-9\_29
3. Zait, Y., Shemer, O. E., & Cochavi, A. (2024). Dynamic responses of chlorophyll fluorescence parameters to drought across diverse plant families. *Physiologia Plantarum*, 176(5), e14527. doi: 10.1111/ppl.14527
4. Faseela, P., Sinisha, A. K., Brestič, M., & Puthur, J. T. (2020). Chlorophyll a fluorescence parameters as indicators of a particular abiotic stress in rice. *Photosynthetica*, 58(SI), 293–300. doi: 10.32615/ps.2019.147
5. Baker, N. R., & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55(403), 1607–1621. doi: 10.1093/jxb/erh196
6. Wang, L., He, P., Hui, M., Li, H., Sun, A., Yin, H., & Gao, X. (2024). Metabolomics combined with transcriptomics and physiology reveals the regulatory responses of soybean plants to drought stress. *Frontiers in Genetics*, 15, 1458656. doi: 10.3389/fgene.2024.1458656
7. Jiao, Q., & Hu, X. (2025). Recent advances and emerging trends in chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm. *Phyton: International Journal of Experimental Botany*, 94(9), 2615–2630. doi: 10.32604/phyton.2025.069246
8. Bhardwaj, A., Kaur, S., Padhiar, D., & Nayyar, H. (2024). Phenotyping for heat tolerance in food crops. *Plant Physiology Reports*, 29(4), 736–748. doi: 10.1007/s40502-024-00833-0
9. Al-Tamimi, N., Langan, P., Bernád, V., Walsh, J., Mangina, E., & Negrão, S. (2022). Capturing crop adaptation to abiotic stress using image-based technologies. *Open Biology*, 12(6), 210353. doi: 10.1098/rsob.210353
10. Elfanah, A. M. S., Darwish, M. A., Selim, A. I., Elmoselhy, O. M. A., Ali, A. M., El-Maghraby, M. A., & Abdelhamid, M. T. (2023). Hyperspectral reflectance and agro-physiological traits for field identification of salt-tolerant wheat genotypes using the genotype by yield trait biplot technique. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1165113. doi: 10.3389/fpls.2023.1165113

11. Sun, D., & Wang, Q. (2018). Linear relationships between photosynthetic rate and photochemical energy expressed by  $PAR \times F_v/F_m$ . *American Journal of Plant Sciences*, 9(2), 125–138. doi: 10.4236/ajps.2018.92011
12. Nichol, C. J., Drolet, G., Porcar-Castell, A., Wade, T., Sabater, N., Middleton, E. M., MacLellan, C., Levula, J., Mammarella, I., Vesala, T., & Atherton, J. (2019). Diurnal and seasonal solar induced chlorophyll fluorescence and photosynthesis in a boreal Scots pine canopy. *Remote Sensing*, 11(3), 273. doi: 10.3390/rs11030273
13. Perez-Priego, O., Guan, J., Rossini, M., Fava, F., Wutzler, T., Moreno, G., ... Migliavacca, M. (2015). Sun-induced chlorophyll fluorescence and photochemical reflectance index improve remote-sensing gross primary production estimates under varying nutrient availability in a typical Mediterranean savanna ecosystem. *Biogeosciences*, 12(21), 6351–6367. doi: 10.5194/bg-12-6351-2015
14. Bartold, M., & Kluczek, M. (2024). Estimating of chlorophyll fluorescence parameter  $F_v/F_m$  for plant stress detection at peatlands under Ramsar Convention with Sentinel-2 satellite imagery. *Ecological Informatics*, 81, 102603. doi: 10.1016/j.ecoinf.2024.102603
15. Кучерявий, В. П., Мокрий, В. І., Гнатів, П. С., Пахолюк, М. П., & Артемовська, Д. В. (1992). Оптикоелектронний метод тестування фотосинтетичного апарату в урбогенних умовах. У *Тезах доповідей 44-ої науково-технічної конференції ЛЛТІ* (с. 42–43). Львів: ЛЛТІ.
16. Мокрий, В. І., Гридчук, С. Д., & Панківський, Ю. І. (1999). Флуоресцентний метод тестування стійкості рослин урбанізованого середовища. *Науковий вісник*, 9, 8, 107–109.
17. Мокрий, В. І., Мудрак, О. В., Петрушка, І. М., Гречаник, Р. М., Арустамян, Е. М., & Мудрак, Г. В. (2023). Флуоресцентне тестування бука європейського у ботанічних пам'ятках природи Львова. *Український журнал природничих наук*, 3, 7–23. doi: 10.32782/naturaljournal.3.2023.7-23
18. Mokryy, V., Trofimchuk, O., Pohrebennyk, V., Politylo, R., Radchuk, V., Radchuk, I., Zagorodnya, S., & Kurlyak, I. (2016). Biophysical monitoring of forest ecosystems. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Presoviensis: Natural Sciences*, 43, 166–171.
19. Бондаренко, Т. В., Мокрий, В. І., & Паславський, М. М. (2012). Флуоресцентне тестування підліскових чагарників природного заповідника “Медобори”. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво*, 171(1), 38–43. Взято з [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnaul\\_lis\\_2012\\_171%281%29\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnaul_lis_2012_171%281%29_8)
20. Петрушка, І. М., Мокрий, В. І., Арустамян, Е. М., Паньковська, Г. П., & Сома, Г. В. (2025). Кореляційно-регресійний аналіз флуоресценції букових лісів Національного природного парку “Північне Поділля”. *Грааль науки*, 58, 297–304. doi: 10.36074/grail-of-science.14.11.2025.034
21. Китаєв, О., Клочан, П., & Романов, В. (2005). Портативний хронофлуорометр для експрес-діагностики фотосинтезу “Флоратест”. У *Збірнику доповідей конференції-звіту з комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України у галузі сенсорних систем та технологій* (с. 59). Київ.
22. Костенко, С. М., Китаєв, О. І., & Ковалевський, С. Б. (2014). Індукція флуоресценції хлорофілу листків представників роду *Philadelphus* L. в умовах міста Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24(4), 209–213.
23. Манько, М. В., Олексійченко, Н. О., & Китаєв, О. І. (2016). Особливості індукції флуоресценції хлорофілу в листках рослин культиварів *Acer platanoides* L. в умовах міста Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(5), 102–109.
24. Олексійченко, Н. О., Китаєв, О. І., Совакова, М. О., Соваков, О. В., & Борщевський, М. О. (2013). Особливості індукції флуоресценції хлорофілу в листках деревних рослин в умовах урбанізованого середовища. *Біоресурси і природокористування*, 5(5–6), 107–112. Взято з [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bpc\\_2013\\_5\\_5-6\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bpc_2013_5_5-6_14)
25. Олексійченко, Н. О. (2009). Індукція флуоресценції хлорофілу листя липи серцелистої у вуличних насадженнях Києва. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 7, 95–97.
26. Мамонова, Р. Ю., Китаєв, О. І., Шихалеева, Г. М., Слюсар, С. І., & Колесник, Ю. С. (2018). Функціональна діагностика адаптивності інтродукованих видів роду *Symphoricarpos Duhamel* в умовах Києва. *Наукові доповіді НУБіП України*, 1(71), 113–134.
27. Шепелюк, М. О., Ковалевський, С. Б., & Китаєв, О. І. (2017). Флуоресценція хлорофілу та її індукційні зміни в листках деревних рослин в умовах урбанізованого середовища міста Луцька. *Науковий вісник НЛТУ України*, 27(1), 101–105. doi: 10.15421/40270122
28. Кирик, М. М., Тарануха, Ю. М., Тарануха, М. П., Китаєв, О. І., Скрыга, В. А., & Артеменко, Д. М. (2011). Діагностика вірусної інфекції смородини чорної та малини методом індукції флуоресценції хлорофілу листків. *Вісник аграрної науки*, 10, 26–28.
29. Капустяник, В. Б., & Мокрий, В. І. (2009). *Прикладна спектроскопія*. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка.
30. Lichtenthaler, H., Buschmann, C., & Knapp, M. (2005). How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio Rfd of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica*, 43(3), 379–393. doi: 10.1007/s11099-005-0062-6
31. Rao, L., Li, S., & Cui, X. (2021). Leaf morphology and chlorophyll fluorescence characteristics of mulberry seedlings under waterlogging stress. *Scientific Reports*, 11, 13379. doi: 10.1038/s41598-021-92782-z

## FLUORESCENCE TESTING OF EUROPEAN BEECH IN THE NORTHERN PODILLIA NATIONAL NATURE PARK

**Mokryi V.**

Doctor of Technical Sciences, Professor

Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

e-mail: volodymyr.i.mokryi@lpnu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5814-5160>

**Arustamian E.**

Postgraduate Student

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

e-mail: plantprotect\_dean@nubip.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-2909>

**Bondar V.**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

e-mail: plantprotect\_dean@nubip.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-3568>

**Kazymyra I.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

e-mail: iryna.y.kazymyra@lpnu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1597-5647>

**Pankovska H.**

Candidate of Agricultural Sciences

Northern Podillia National Nature Park (Brody, Ukraine)

e-mail: park\_pp@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6620-7408>

*The fluorescent parameters of European beech (*Fagus sylvatica* L.) were investigated in forest communities of the Northern Podillia National Nature Park. The scientific and practical significance of analyzing fluorescent parameters for integrated monitoring of forest ecosystem condition is substantiated. The relevance of monitoring studies of dendroflora lies in establishing a baseline of environmental data to assess the state and dynamics of the park's ecosystems. Reconnaissance surveys of forest stands were conducted, and fluorescence intensity was measured in trees of different age classes growing under diverse forest ecological conditions. Based on the numerical characteristics of fluorescence intensity dynamics, a tree vitality index and indicator parameters reflecting the influence of exogenous and endogenous factors were calculated. The highest vitality index values were recorded for old-growth trees, attributed to optimal light conditions and site characteristics. In contrast, understory saplings exhibited reduced vitality index values due to decreased light availability, reflecting a decline in the potential activity of the photosynthetic apparatus. Variations in the tree vitality index were observed across different site conditions. The observed decrease in vitality index values is associated with relatively lower soil fertility and water availability, reflecting stress-induced adaptive responses of plant physiological functions to varying environmental conditions and representing a primary cause of photosynthetic inactivation. Based on fluorescence testing and bioinformatic analysis, the physiological state and adaptive potential of European beech within the Northern Podillia National Nature Park were determined. The obtained data on changes in tree fluorescence parameters confirm the photosynthetic apparatus's sensitivity to environmental factors and substantiate the suitability of European beech as a test object for assessing edaphic and hydrogeological conditions on the territory. It was established that the fluorescence method is promising for monitoring the sanitary condition of forest stands, as it enables the determination of an integral, scientifically informative parameter — the tree vitality index. The practical applicability of modern fluorescence-based express testing methods for vegetation is justified, as these methods provide a correlational synthesis of photobiological mechanisms of photosynthesis and graph-analytical information, which is essential for the development of information and diagnostic systems for integrated ecosystem monitoring, biodiversity conservation, and protection of the floristic gene pool of protected natural areas.*

**Keywords:** monitoring, bioinformatics, ecosystem, vitality index, physiological state, adaptive potential, photosynthesis.

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**МОКРИЙ Володимир Іванович** — доктор технічних наук, професор, Національний університет "Львівська політехніка" (вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013; e-mail: volodymyr.i.mokriy@lpnu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5814-5160>).

**АРУСТАМЯН Едуард Максимович** — здобувач, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 13, м. Київ, Україна, 03041; e-mail: plantprotect\_dean@nubip.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-2909>).

**БОНДАРЬ Валерія Іванівна** — кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 13, м. Київ, Україна, 03041; e-mail: plantprotect\_dean@nubip.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-3568>).

**КАЗИМИРА Ірина Ярославівна** — кандидат технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка" (вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013; e-mail: iryna.y.kazymyra@lpnu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1597-5647>).

**ПАНЬКОВСЬКА Галина Петрівна** — кандидат сільськогосподарських наук, Національний природний парк "Північне Поділля" (вул. Бродівська, 21А, с. Ясенів, Золочівський р-н, Львівська обл., Україна, 80661; e-mail: park\_pp@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6620-7408>).

## ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ТОМАТА ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВИРОЩУВАННЯ РОЗСАДИ

І. М. Дідур

доктор сільськогосподарських наук, професор

Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: [ascience@ukr.net](mailto:ascience@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6612-6592>

Проаналізовано економічну ефективність технології вирощування томатів, що дало змогу визначити найбільш раціональні агротехнічні підходи для забезпечення високої врожайності й оптимального використання ресурсів у Вінницькій області. У статті представлено результати дворічних досліджень (2024–2025 рр.) з економічної оцінки технологій вирощування розсади томата в умовах тепличного господарства Навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету. Метою роботи було проведення комплексної економічної оцінки технологій вирощування томатів в умовах тепличного господарства Вінницького національного аграрного університету з науковим обґрунтуванням їхньої економічної доцільності й екологічної стійкості. Використовували ранньостиглий детермінантний гібрид томата  $F_1$  1015, який характеризується високою адаптивністю до гідротермічних умов, стійкістю до спеки й хвороб, кубовидно-округлою формою плодів і вмістом сухих розчинних речовин понад 5,5 Вх. Розсаду вирощували в торф'яному субстраті Jiffy з контрольованим рівнем рН і поживних елементів, посів проводили напівавтоматично з дотриманням заданої густоти. Під час дослідження визначали врожайність та економічні показники продукції, включно із собівартістю, рівнем рентабельності й чистим прибутком. Результати показали, що перевалочний спосіб забезпечує вищу врожайність ( $92,37 \pm 1,45$  т/га) порівняно з безперевалочним ( $84,25 \pm 1,32$  т/га). Економічна оцінка свідчить, що перевалочний метод вирощування розсади характеризується нижчими витратами на одиницю продукції та вищим рівнем рентабельності (100 % проти 33 %). Це підтверджує доцільність застосування перевалки для підвищення ефективності тепличного овочівництва. Отримані дані мають практичне значення для оптимізації агротехнологій томата, підвищення прибутковості підприємств і раціонального використання виробничих ресурсів, а також сприяють підвищенню конкурентоспроможності продукції на регіональному, внутрішньому й зовнішньому ринках.

**Ключові слова:** томати, гібрид, врожайність, ресурсозбереження, екологічна безпека, економічна стійкість.

### ВСТУП

У сучасних умовах трансформації аграрного виробництва та зростаючих вимог до ефективного використання природно-ресурсного потенціалу особливого значення набуває економічна оцінка технологій вирощування сільськогосподарських культур, зокрема овочевих, які є важливими складовими системи продовольчої безпеки держави [1; 2]. Посилення конкуренції на аграрних ринках, зростання вартості матеріально-технічних ресурсів та енергетичних носіїв, а також необхідність забезпечення стабільної рентабельності виробництва зумовлюють потребу в удосконаленні технологічних рішень з урахуванням їхньої економічної доцільності [3; 4]. Томат як високорентабельна й соціально значуща овочева культура посідає провідне місце в структурі овочевих посівів України завдяки стабільному попиту, універсальності використання та високій поживній цінності плодів [3; 5]. Це зумовлює актуальність

пошуку та впровадження ефективних агротехнологічних підходів до його вирощування, які поєднують високу продуктивність, якість продукції та раціональне використання ресурсів.

Особливої уваги потребує оцінка технологічних прийомів, що впливають на формування врожаю, витрати виробництва й кінцеві економічні результати. Аналіз світового й вітчизняного досвіду свідчить, що висока економічна ефективність вирощування томата досягається завдяки оптимальному поєднанню факторів виробництва, раціональному розміщенню культури, спеціалізації та інтенсифікації виробничих процесів, а також впровадженню сучасних технологій, орієнтованих на підвищення товарності продукції [6; 7].

У цьому контексті значну роль відіграють технології вирощування розсади, які безпосередньо впливають на життєздатність рослин, рівень урожайності та економічні показники виробництва. Підвищена увага до проблеми

економічної ефективності виробництва овочевої продукції, зокрема томата, зумовлена необхідністю забезпечення зростання дохідності аграрних підприємств, підвищення конкурентоспроможності продукції на внутрішньому й зовнішньому ринках, а також адаптації галузі до сучасних викликів розвитку агропромислового комплексу.

**Мета роботи** полягає у проведенні комплексної економічної оцінки технологій вирощування томатів в умовах тепличного господарства Вінницького національного аграрного університету з науковим обґрунтуванням їхньої економічної доцільності й екологічної стійкості.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З огляду на кліматичні зміни, обмеженість водних ресурсів і зростання цін на добрива, важливого значення набуває економічне обґрунтування ефективності технологій вирощування овочевих культур, орієнтованих на ресурсозбереження, екологічну безпеку й підвищення економічної стійкості аграрного виробництва [6; 7].

Останніми роками вітчизняні й зарубіжні науковці активно вивчають питання вдосконалення технологій вирощування томата з урахуванням водозабезпечення та систем живлення рослин [8]. У дослідженнях С. А. Вдовенка та ін. підкреслено доцільність комплексного підходу, який поєднує агротехнічні рішення з економічною оцінкою їхньої ефективності, що дає змогу підвищити продуктивність культури та оптимізувати використання виробничих ресурсів. Зокрема, встановлено, що впровадження краплинного зрошення в поєднанні з локалізованим внесенням мінеральних добрив сприяє істотному зростанню врожайності томата — у середньому на 18–22% порівняно з традиційними способами поливу. Водночас застосування зазначених технологій дає змогу скоротити витрати води на 35–40% на одиницю виробленої продукції. Проведені економічні розрахунки засвідчують, що такі технологічні рішення є більш ефективними завдяки зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню частки товарної продукції та загального рівня рентабельності виробництва [6].

У наукових дослідженнях здійснено оцінку економічної ефективності вирощування томатів у зоні Лісостепу України залежно від застосованих способів зрошення. За результатами встановлено, що з позицій економічної доцільності найбільш ефективним є використання краплинного поливу в поєднанні з орґано-мінеральною системою живлення рослин. За цього варіанта рівень рентабельності виробництва перевищу-

вав 45%, тоді як за умов дощування цей показник залишався на рівні не вище 30%. Отримані результати підтверджують доцільність упровадження ресурсозберігаючих технологій зрошення для підвищення економічних показників вирощування томата [2].

У дослідженнях А. Пастухової та ін. проведено аналіз впливу різних систем удобрення на продуктивність та економічні показники вирощування томатів у відкритому ґрунті. Установлено, що інтеграція традиційного мінерального живлення з біологізованими елементами, зокрема застосування гуматів і мікроелементів, сприяє істотному підвищенню врожайності культури, яка досягала 65 т/га. Зазначений варіант удобрення забезпечив мінімальні витрати на виробництво одиниці продукції — 3,8 тис. грн/т, а також найвищий рівень рентабельності, що становив 52%. Отримані результати свідчать про доцільність використання комбінованих систем удобрення як ефективного інструменту підвищення економічної результативності вирощування томата [5].

Економічна оцінка впровадження таких технологічних рішень дає змогу визначити найбільш прибуткові варіанти вирощування томатів, раціоналізувати структуру виробничих витрат і забезпечити стабільні фінансові результати для сільськогосподарських підприємств [8; 9]. Крім того, використання економічних критеріїв сприяє обґрунтованому впровадженню інноваційних агротехнологій у практику овочівництва. З огляду на це, дослідження економічної ефективності вирощування томатів залежно від способів поливу й фону живлення є актуальним і своєчасним, оскільки має як наукове, так і практичне значення для підвищення конкурентоспроможності та сталого розвитку аграрного сектору.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили впродовж 2024–2025 років в умовах тепличного господарства Навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету. Експеримент було закладено як однофакторний дослід із двома варіантами технології вирощування розсади томата, кожен з яких мав чотирикратну повторність. Загальна площа дослідної ділянки становила 12 м<sup>2</sup>, облікова — 10 м<sup>2</sup>. Розміщення варіантів і повторень здійснювали з урахуванням однорідності ґрунтово-кліматичних умов теплиці та з метою мінімізації крайового ефекту. Об'єктом досліджень слугував ранньостиглий промисловий детермінантний гібрид томата F<sub>1</sub> 1015 компанії Hy-Line (США). Гібрид

характеризується високою адаптивною здатністю, стійкістю до абіотичних стресів, зокрема високих температур і дефіциту вологи, а також генетичною резистентністю до основних хвороб томата. Плоди мають кубовидно-округлу форму, високі товарні якості, щільну консистенцію та вміст сухих розчинних речовин понад 5,5% за шкалою Brix, що зумовлює придатність гібрида як для свіжого споживання, так і для промислової переробки.

У досліді порівнювали два варіанти вирощування розсади. За першим варіантом посів насіння здійснювали безпосередньо в голландські касети розміром 315×525 мм на 286 чарунок без подальшої перевалки. Такий підхід забезпечував мінімізацію стресового впливу на рослини, збереження цілісності кореневої системи та рівномірний розвиток розсади на ранніх етапах органогенезу.

За другим варіантом посів проводили в касети того ж розміру на 576 чарунок із наступною перевалкою в касети на 286 чарунок, що давало змогу оптимізувати використання насіннєвого матеріалу та регулювати густоту стояння рослин, проте передбачало додаткову технологічну операцію.

Посів насіння здійснювали на глибину 0,5–0,8 см із використанням напівавтоматичної мобільної сівалки DaRos, що забезпечувало рівномірність загортання та задану густоту посіву. Як субстрат використовували торф'яний субстрат Jiffy з кислотністю pH 5,5–6,0 і вмістом основних елементів живлення NPK 17-10-14, який створював оптимальні умови для проростання насіння, формування кореневої системи та початкового росту розсади.

Протягом вегетаційного періоду здійснювали фенологічні спостереження, біометричні вимірювання, облік урожайності та визначення якісних показників продукції. Економічну ефективність технологій оцінювали шляхом розрахунку витрат на вирощування, собівартості продукції, рівня прибутку та рентабельності виробництва.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Під час дослідження проводили економічну оцінку технологій вирощування тома-

тів, що дало змогу обґрунтувати ефективність застосування різних агротехнічних підходів з урахуванням економічного результату, зокрема витрат на вирощування, урожайності та рентабельності продукції.

Аналіз результатів дворічних досліджень показав, що технологія вирощування розсади томата істотно впливає на рівень урожайності (табл. 1).

Рослини, вирощені без перевалки, у 2024 році забезпечили врожайність  $80,08 \pm 1,25$  т/га, а у 2025 році —  $85,41 \pm 1,38$  т/га, що в середньому становило  $84,25 \pm 1,32$  т/га. За використання перевалки відповідні показники становили  $89,09 \pm 1,40$  т/га у 2024 році та  $95,65 \pm 1,50$  т/га у 2025 році, із середнім значенням  $92,37 \pm 1,45$  т/га. Отримані дані свідчать, що застосування перевалки сприяє підвищенню продуктивності рослин, забезпечуючи більший валовий збір порівняно з традиційним способом вирощування без перевалки.

Використання середньоквадратичного відхилення підтверджує статистичну надійність отриманих результатів і дає змогу оцінити стабільність урожайності впродовж двох років досліджень.

Для оцінки економічної ефективності вирощування томатів було використано дані про врожайність і вміст сухих речовин у плодах. Ціна продукції залежала від показника вмісту сухих речовин (Вх): за томати з вмістом сухих речовин до 4 Вх встановлено ціну 5 000 грн/т, а за вміст сухих речовин понад 5 Вх — 8 000 грн/т. На підставі цих даних проведено розрахунок доходу від реалізації врожаю для обох варіантів вирощування розсади. Так, урожайність розсади без перевалки становила  $84,25$  т/га із середнім вмістом сухих речовин  $5,32$  Вх, що дає змогу оцінити продукцію за високою ціною — 8 000 грн/т. Відповідно, урожайність розсади з перевалкою ( $92,37$  т/га) характеризувалася нижчим середнім вмістом сухих речовин —  $3,65$  Вх, і, таким чином, продукція реалізовувалася за базовою ціною 5 000 грн/т. Такий підхід дає змогу не лише порівняти продуктивність різних технологій вирощування, а й оцінити їхню економічну доцільність з урахуванням як кількісних, так і якісних характеристик продукції (табл. 2).

Таблиця 1

Урожайність томата за різних варіантів вирощування розсади, т/га

| Варіанти      | 2024 р.          | 2025 р.          | Середнє          |
|---------------|------------------|------------------|------------------|
| Без перевалки | $80,08 \pm 1,25$ | $85,41 \pm 1,38$ | $84,25 \pm 1,32$ |
| З перевалкою  | $89,09 \pm 1,40$ | $95,65 \pm 1,50$ | $92,37 \pm 1,45$ |

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень.

Таблиця 2

## Економічна оцінка технології вирощування розсади за різних способів вирощування

| Варіанти дослідів      | Собівартість<br>1 т, грн | Чистий<br>прибуток, грн | Вартість<br>урожаю, грн | Виробничі<br>витрати,<br>грн/га | Рівень<br>рентабельності,<br>% |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Безперевалочний спосіб | 2 243                    | 456 000                 | 656 000                 | 200 000                         | 128                            |
| Перевалочний спосіб    | 2 247                    | 260 000                 | 460 000                 | 200 000                         | 30                             |

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень.

Аналіз даних показав, що використання безперевалочного способу вирощування розсади забезпечує значно вищий рівень рентабельності — 128% порівняно з 30% за використання перевалки. Це підкреслює важливість комплексної оцінки технологій вирощування, яка враховує як кількісні, так і якісні показники продукції, для прийняття економічно обґрунтованих рішень в овочівництві.

У табл. 3 наведено узагальнені результати економічної ефективності вирощування томатів розсадним перевалочним способом порівняно з безперевалочним методом.

Аналіз економічних показників вирощування томатів залежно від способу формування розсади свідчить про суттєві відмінності у фінансових результатах. За безперевалочного способу собівартість 1 т продукції становила 2 439 грн, валова вартість урожаю — 656 000 грн, а чистий прибуток — 456 000 грн. Виробничі витрати на 1 га становили 200 000 грн, що забезпечувало високий рівень рентабельності — 128%. Своєю чергою, перевалочний спосіб вирощування розсади характеризувався дещо нижчою собівартістю 1 т продук-

ції — 2 247 грн, проте вищою валовою вартістю урожаю — 736 000 грн і чистим прибутком — 536 000 грн. Виробничі витрати залишалися на рівні 200 000 грн/га, а рівень рентабельності становив 168%.

Перевалочний спосіб вирощування розсади є значно економічно ефективнішим для виробників розсади порівняно з безперевалочним (табл. 4). Він потребує менших виробничих витрат і забезпечує вищий чистий прибуток і рівень рентабельності (100% проти 33%).

Аналіз економічних показників вирощування розсади томатів залежно від способу вирощування показав суттєву різницю в прибутковості й рентабельності. За безперевалочного способу ринкова вартість 10 т розсади становила 20 000 грн, виробничі витрати на її вирощування — 15 000 грн, що забезпечило чистий прибуток 5 000 грн і рівень рентабельності 33%.

За перевалочного способу ринкова вартість розсади була дещо нижчою — 18 000 грн, однак витрати на виробництво значно зменшилися до 9 000 грн. Це забезпечило чистий прибуток 9 000 грн і рівень рентабельності 100%, що

Таблиця 3

## Економічна ефективність вирощування томата за різних способів вирощування розсади

| Варіанти дослідів      | Собівартість<br>1 т, грн | Чистий<br>прибуток, грн | Вартість<br>урожаю, грн | Виробничі<br>витрати,<br>грн/га | Рівень<br>рентабельності,<br>% |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Безперевалочний спосіб | 2 439                    | 456 000                 | 656 000                 | 200 000                         | 128                            |
| Перевалочний спосіб    | 2 247                    | 536 000                 | 736 000                 | 200 000                         | 168                            |

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень.

Таблиця 4

## Економічна ефективність вирощування розсади безперевалочним і перевалочним способами

| Варіанти дослідів      | Чистий прибуток,<br>грн | Ринкова<br>вартість розсади,<br>грн | Виробничі<br>витрати, грн<br>на 10 т рослин | Рівень<br>рентабельності,<br>% |
|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|
| Безперевалочний спосіб | 5 000                   | 20 000                              | 15 000                                      | 33                             |
| Перевалочний спосіб    | 9 000                   | 187 400                             | 9 000                                       | 100                            |

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень.

майже втричі перевищує показник безперевалочного способу.

Отримані дані свідчать про економічну доцільність застосування перевалки під час вирощування розсади томатів: зниження витрат на одиницю продукції суттєво підвищує прибутковість і рентабельність, незважаючи на незначне зниження ринкової вартості розсади. Такий підхід дає змогу ефективніше використовувати ресурси та підвищувати економічну ефективність тепличного вирощування.

### ВИСНОВКИ

Проведені дослідження підтвердили, що технологія вирощування розсади томатів суттєво впливає на продуктивність та економічні показники виробництва в умовах Вінницької області. Дворічний експеримент показав, що застосування перевалочного способу забезпечує вищу врожайність — у середньому  $92,37 \pm 1,45$  т/га, тоді як безперевалочний спосіб давав  $84,25 \pm 1,32$  т/га. Це свідчить про те, що регулювання густоти розсади на ранніх етапах росту сприяє кращому розвитку рослин і

підвищенню валового збору продукції. Аналіз економічної ефективності підтвердив переваги перевалки: собівартість одиниці продукції була нижчою, а чистий прибуток і рівень рентабельності — значно вищими порівняно з безперевалочним способом. Зокрема, рентабельність вирощування розсади за перевалочного способу досягала 100%, тоді як за традиційного методу вона становила лише 33%. Незважаючи на дещо нижчу ринкову вартість розсади, економія виробничих витрат і збільшення чистого прибутку роблять перевалочний метод більш доцільним для практичного застосування в умовах тепличного господарства. Отримані результати підкреслюють важливість комплексного підходу до оцінки агротехнологій, що поєднує кількісні та якісні показники продукції з економічними критеріями. Застосування перевалочного способу дає змогу підвищити ефективність використання ресурсів, оптимізувати виробничі витрати та забезпечити стабільну економічну віддачу, що є важливим для підвищення конкурентоспроможності овочевої продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Панцирева, Г. В., & Піхоцький, В. А. (2026). Ефективність використання біопрепаратів у технологіях вирощування коренеплодів буряка столового. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*, 147, 124–130. doi: 10.32782/2226-0099.2026.147.2.16
2. Панцирева, Г. В., & Мазур, О. В. (2026). Оцінка показників якості та придатності коренеплодів моркви до зберігання. *Сільське господарство та лісівництво*, 2(42), 17–27. doi: 10.37128/2707-5826-2026-2-2
3. Jiang, S. Q., Yu, Y. N., & Gao, R. W. (2019). High-throughput absolute quantification sequencing reveals the effect of different fertilizer applications on bacterial community in a tomato cultivated coastal saline soil. *The Science of the Total Environment*, 687, 601–609. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.105
4. Pantsyreva, H. V., Myalkovsky, R. O., Yasinetska, I. A., & Prokopchuk, V. M. (2020). Productivity and economical appraisal of growing raspberry according to substrate for mulching under the conditions of podilia area in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(1), 210–214. doi: 10.15421/2020\_33
5. Pastukhova, A., Petrov, A., Tsvetkova, V., & Maslenikova, V. (2020). The responsiveness of tomato cultivar “Spock” on the use of biological and mineral fertilizers. *Innovations and Food Safety*, 4(30), 108–116. doi: 10.31677/2072-6724-2020-30-4-108-116
6. Vdovenko, S. A., Palamarchuk, I. I., Pantsyreva, H. V., Alexeyev, O. O., & Vdovenko, L. O. (2018). Energy efficient growing of red beet in the conditions of central forest steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 34–40. Retrieved from <https://www.ujecology.com/abstract/energy-efficient-growing-of-red-beet-in-the-conditions-of-central-forest-steppe-of-ukraine-5456.html>
7. Tkachuk, O., Pantsyreva, H., Mazur, K., Chabanuk, Ya., Zabarna, T., Pelekh, L., ... Viter, N. (2025). Ecological problems of the functioning of field protective forest belts of Ukrainian Forest Steppe. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26(1), 149–161. doi: 10.12912/27197050/195735
8. Mazur, V. A., Myalkovsky, R. O., Pantsyreva, H. V., Didur, I. M., Mazur, K. V., & Alekseev, O. O. (2020). Photosynthetic productivity of potato plants depending on the location of rows placement in agrophytocenosis. *Ecology, Environment and Conservation*, 26(2), 536–545. Retrieved from [http://www.envirotechjournals.com/article\\_abstract.php?aid=10495&iid=303&jid=3](http://www.envirotechjournals.com/article_abstract.php?aid=10495&iid=303&jid=3)
9. Didur, I., Vdovenko, S., Tkachuk, O., Palamarchuk, I., Pantsyreva, H., Chabaniuk, Ya., ... Gucol, G. (2024). Cultivation of tomatoes using mycorrhizal biological preparations. *Modern Phytomorphology*, 18, 133–138. doi: 10.5281/zenodo.200121

### ECONOMIC EVALUATION OF TOMATO GROWING TECHNOLOGY UNDER DIFFERENT SEEDLING GROWING METHODS

**Didur I.**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Vinnitsia National Agrarian University (Vinnitsia, Ukraine)

e-mail: [ascience@ukr.net](mailto:ascience@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6612-6592>

*The economic efficiency of tomato growing technology was analyzed, which made it possible to determine the most rational agrotechnical approaches to ensure high yields and optimal use of resources in the Vinnytsia region. The article presents the results of a two-year study (2024–2025) on the economic assessment of tomato seedling growing technologies under greenhouse conditions at the Educational and Scientific Institute of Agrotechnologies and Environmental Management of Vinnytsia National Agrarian University. The aim of the work was to conduct a comprehensive economic assessment of tomato growing technologies under greenhouse conditions at Vinnytsia National Agrarian University with scientific substantiation of their economic feasibility and environmental sustainability. The early-ripening determinant tomato hybrid F<sub>1</sub> 1015 was used, which is characterized by high adaptability to hydrothermal conditions, resistance to heat and diseases, a cuboid-rounded fruit shape, and a content of dry soluble substances over 5.5 Bx. Seedlings were grown in the Jiffy peat substrate with a controlled pH and nutrient level, sowing was carried out semi-automatically in compliance with the specified density. During the study, the yield and economic indicators of the product were determined, including cost price, profitability level, and net profit. The results showed that the transshipment method provides higher yield ( $92.37 \pm 1.45$  t/ha) compared to the non-transshipment method ( $84.25 \pm 1.32$  t/ha). The economic assessment shows that the transshipment method of growing seedlings is characterized by lower costs per unit of production and a higher level of profitability (100% vs. 33%). This confirms the feasibility of using transshipment to increase the efficiency of greenhouse vegetable growing. The data obtained are of practical importance for optimizing tomato agricultural technologies, increasing the profitability of enterprises, ensuring the rational use of production resources, and contributing to increasing the competitiveness of products in the regional, domestic, and foreign markets.*

**Keywords:** tomatoes, hybrid, yield, resource conservation, environmental safety, economic sustainability.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**ДІДУР Ігор Миколайович** — доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії, директор Навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: [ascience@ukr.net](mailto:ascience@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6612-6592>).

Дослідження виконано в межах реалізації гранту Президента України для молодих учених і докторів наук на тему “Підвищення продуктивності органічного виробництва сільськогосподарських культур шляхом біологізації технологічних процесів у період повоєнного відновлення з метою зміцнення національної продовольчої безпеки”.

**ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ  
ЗА ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР  
У РІЗНИХ СІВОЗМІНАХ****М. М. Пархоменко**

здобувач ступеня доктора філософії

*Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН  
Національний університет "Чернігівська політехніка" (м. Чернігів, Україна)**e-mail: miroslav.parkhomenko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8804-0813>***Ю. М. Халеп**

кандидат економічних наук, старший дослідник

*Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН  
(м. Чернігів, Україна)**e-mail: markisgm2017@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9684-5547>*

Проведено оцінку економічної ефективності застосування біологічних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур у двох короткотривалих сівозмінах — зерновій і картопляно-зерновій, а також визначено економічну окупність добрив. Розрахунок показників економічної ефективності застосування мікробних препаратів виконано з використанням загальноприйнятих методичних підходів, що базуються на порівнянні результатів від застосування певного агрозаходу з витратами на його проведення. Методи дослідження: моделювання, розрахунково-конструктивний, порівняльний аналіз. За підсумками проведеного аналізу зроблено висновки, що передпосівна інокуляція насіння сприяє підвищенню економічної ефективності виробництва, передусім за рахунок випереджального зростання продуктивності порівняно з додатковими витратами. Використання мікробних препаратів також зумовлює зростання економічної окупності добрив унаслідок підвищення ступеня засвоєння рослинами елементів живлення. Це дає змогу оптимізувати норми внесення мінеральних добрив з урахуванням цінових параметрів. Попри певну строкатість отриманих результатів при вирощуванні окремих культур, аналіз узагальнених по сівозмінах показників свідчить про економічну доцільність застосування зазначених засобів біологізації виробництва.

**Ключові слова:** передпосівна інокуляція, додаткові витрати, додатковий прибуток, окупність.

**ВСТУП**

Для впровадження біологічних препаратів у практику сільськогосподарського виробництва необхідним є усвідомлення потенційними споживачами можливості отримання економічного ефекту, адже це є одним з основних критеріїв ухвалення рішень стосовно використання будь-якого засобу виробництва. Як правило, дослідження щодо застосування біологічних препаратів землекористувачів дії в технологіях вирощування сільськогосподарських культур проводять для окремих препаратів та окремих культур. Водночас об'єктивнішу оцінку можна отримати за результатами комплексного аналізу узагальнених по сівозмінах показників. До того ж позитивний вплив передпосівної інокуляції насіннєвого матеріалу проявляється не лише в підвищенні прибутковості виробництва, а й у такій його складовій, як економічна окупність добрив, про що зазвичай не згадується у відомих дослідженнях.

**Метою дослідження** є проведення оцінки економічної ефективності застосування біологічних препаратів як у технологіях вирощування окремих сільськогосподарських культур, так і загалом по відповідних сівозмінах, а також визначення економічної окупності добрив.

**АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
І ПУБЛІКАЦІЙ**

Питання впливу застосування біологічних препаратів у технологіях вирощування окремих сільськогосподарських культур на економічні результати виробництва певною мірою висвітлено в низці публікацій, зокрема в наших попередніх дослідженнях як за умов традиційних систем, так і за органічного виробництва [1–8]. Показано, що значний позитивний вплив передпосівної інокуляції на економічні результати виробництва досягається передусім унаслідок випереджального зростання продуктивності порівняно з додатковими витратами на вико-

ристання біологічних препаратів. При цьому, якщо за збільшення мінерального агрофону до певного рівня (без інокуляції) починає спостерігатися зниження економічної ефективності виробництва через зменшення біологічної окупності туків, то застосування біологічних препаратів сприяє підвищенню цього рівня. В окремих випадках, коли за несприятливої ринкової кон'юнктури й цінового диспаритету виробництво окремих культур за традиційних технологій може бути збитковим, підвищення урожайності завдяки передпосівній бактеризації насіння дає змогу уникнути збитків [7].

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження ефективності біологічних препаратів проводили протягом 2016–2020 рр. у тривалому польовому стаціонарному досліді Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (ІСМАВ) на дерново-підзолистому ґрунті (рНКСІ орного шару — 4,9, підорного — 4,6, уміст гумусу (за Тюриним) — 1,1%,  $P_2O_5$  (за Кірсановим) — 16 мг на 100 г ґрунту,  $K_2O$  (за Масловою) — 6 мг на 100 г ґрунту) при вирощуванні сільськогосподарських культур у двох типах сівозмін і за різних систем удобрення. Загальна площа кожної ділянки становила 102 м<sup>2</sup> (довжина — 17 м, ширина — 6 м), облікової — 60 м<sup>2</sup> (довжина — 15 м, ширина — 4 м). Повторність —

чотириразова. Розміщення ділянок у досліді — рандомізоване.

Зернова сівозмінна: кукурудза на зерно → пшениця яра → конюшина → пшениця озима. Системи удобрення сільськогосподарських культур у сівозміні наведено в *табл. 1*.

Картопляно-зернова сівозмінна: картопля → овес → люпин вузьколистий → жито озиме на зерно. Системи удобрення культур наведено в *табл. 2*.

Хоча системи удобрення для обох сівозмін дещо відрізнялися залежно від культур, середньосівозмінні норми добрив були однаковими: без добрив (контроль);  $N_{60}P_{50}K_{60}$ ; проміжний сидерат (люпин вузьколистий) +  $N_{60}P_{50}K_{60}$ ; проміжний сидерат (жито озиме) +  $N_{60}P_{50}K_{60}$ ; гній (10 т/га) +  $N_{60}P_{50}K_{60}$ ; проміжний сидерат (люпин вузьколистий) + гній (10 т/га) +  $N_{60}P_{50}K_{60}$ ; гній (20 т/га).

Мінеральні добрива застосовували у вигляді аміачної селітри (д. р. 34,5%), суперфосфату простого гранульованого (д. р. 19,5%) й калію хлористого (д. р. 60%), під картоплю — калію сірчанокислого (д. р. 56%). Фосфорні й калійні добрива вносили під основний обробіток, азотні — у передпосівну культивування та підживлення.

Підстилковий гній великої рогатої худоби (ВРХ) в середньому містив поживних речовин: 0,50% N, 0,25%  $P_2O_5$  і 0,60%  $K_2O$ . Гній вносили пізно восени.

Як зелене добриво використовували фітомасу люпину вузьколистого й жита озимого,

Таблиця 1

#### Варіанти удобрення сільськогосподарських культур у зерновій сівозміні

| Кукурудза                                               | Пшениця яра                                         | Конюшина                                        | Пшениця озима                                           |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <i>Блок 1 — без інокуляції</i>                          |                                                     |                                                 |                                                         |
| Без добрив                                              | Без добрив                                          | Без добрив                                      | Без добрив                                              |
| $N_{100}P_{90}K_{100}$                                  | $N_{50}P_{50}K_{60}$                                | $P_{20}K_{20}$                                  | $N_{50}P_{50}K_{60}$                                    |
| Сидерат 1 (люпин вузьколистий) + $N_{100}P_{90}K_{100}$ | Сидерат 1* + $N_{50}P_{50}K_{60}$                   | Сидерат 1** + $P_{20}K_{20}$                    | Сидерат 1*** + $N_{50}P_{50}K_{60}$                     |
| Сидерат 2 (жито озиме) + $N_{100}P_{90}K_{100}$         | Сидерат 2* + $N_{50}P_{50}K_{60}$                   | Сидерат 2** + $P_{20}K_{20}$                    | Сидерат 2*** + $N_{50}P_{50}K_{60}$                     |
| Гній (10 т/га) + $N_{100}P_{90}K_{100}$                 | Гній* + $N_{50}P_{50}K_{60}$                        | Гній (10 т/га)** + $P_{20}K_{20}$               | Гній*** + $N_{50}P_{50}K_{60}$                          |
| Сидерат 1 + гній (10 т/га) + $N_{100}P_{90}K_{100}$     | Сидерат 1* + гній (10 т/га)* + $N_{50}P_{50}K_{60}$ | Сидерат 1** + гній (10 т/га)** + $P_{20}K_{20}$ | Сидерат 1*** + гній (10 т/га)*** + $N_{50}P_{50}K_{60}$ |
| Гній (20 т/га)                                          | Гній (20 т/га)*                                     | Гній (20 т/га)**                                | Гній (20 т/га)***                                       |
| <i>Блок 2 — за використання мікробних препаратів</i>    |                                                     |                                                 |                                                         |
| <i>Аналогічні варіанти удобрення</i>                    |                                                     |                                                 |                                                         |

Джерело: сформовано авторами на основі даних стаціонарного досліді ІСМАВ.

Примітка: тут і в *табл. 2*: \* — першого року післядія; \*\* — другого року післядія; \*\*\* — третього року післядія.

Таблиця 2

## Варіанти удобрення сільськогосподарських культур у картопляно-зерновій сівозміні

| Картопля                                                | Овес                                                | Люпин вузьколистий                              | Жито озиме                                              |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Блок 1 — без інокуляції                                 |                                                     |                                                 |                                                         |
| Без добрив                                              | Без добрив                                          | Без добрив                                      | Без добрив                                              |
| $N_{100}P_{90}K_{120}$                                  | $N_{60}P_{50}K_{60}$                                | $P_{20}K_{20}$                                  | $N_{60}P_{50}K_{60}$                                    |
| Сидерат 1 (люпин вузьколистий) + $N_{100}P_{90}K_{120}$ | Сидерат 1* + $N_{60}P_{50}K_{60}$                   | Сидерат 1** + $P_{20}K_{20}$                    | Сидерат 1*** + $N_{60}P_{50}K_{60}$                     |
| Сидерат 2 (жито озиме) + $N_{100}P_{90}K_{120}$         | Сидерат 2* + $N_{60}P_{50}K_{60}$                   | Сидерат 2** + $P_{20}K_{20}$                    | Сидерат 2*** + $N_{60}P_{50}K_{60}$                     |
| Гній (10 т/га) + $N_{100}P_{90}K_{120}$                 | Гній* + $N_{60}P_{50}K_{60}$                        | Гній (10 т/га)** + $P_{20}K_{20}$               | Гній*** + $N_{60}P_{50}K_{60}$                          |
| Сидерат 1 + гній (10 т/га) + $N_{100}P_{90}K_{120}$     | Сидерат 1* + гній (10 т/га)* + $N_{60}P_{50}K_{60}$ | Сидерат 1** + гній (10 т/га)** + $P_{20}K_{20}$ | Сидерат 1*** + гній (10 т/га)*** + $N_{60}P_{50}K_{60}$ |
| Гній (20 т/га)                                          | Гній (20 т/га)*                                     | Гній (20 т/га)**                                | Гній (20 т/га)***                                       |
| Блок 2 — за використання мікробних препаратів           |                                                     |                                                 |                                                         |
| Аналогічні варіанти удобрення                           |                                                     |                                                 |                                                         |

Джерело: сформовано авторами на основі даних стаціонарного дослідження ІСМАВ.

вісяних як проміжні культури, після збирання озимих на зерно. Посів люпину й жита озимого проводили в першу декаду серпня. Урожайність сидератів коливалася від 18,5 до 22,2 т/га, що в середньому за роки досліджень становила приблизно 20 т/га, або 5 т/га сівозмінної площі. У варіантах із сидератами й гноєм проводили дискування на зиму в другій декаді листопада, після чого здійснювали зяблеву оранку.

У досліді вирощували такі сорти сільськогосподарських культур: кукурудза — Аттракт (гібрид); пшениця яра — Рання-93; конюшина — Атлас; пшениця озима — Поліська-90; картопля — Белароза; овес — Парламентський; люпин вузьколистий — Чернігівець; жито озиме — Синтетик-38.

Для інокуляції посівного/посадкового матеріалу використовували біопрепарати, створені в ІСМАВ: для пшениці озимої, пшениці ярої та кукурудзи — Поліміксобактерин (на основі ристимулювальної і фосфатсолубілізуювальної бактерії *Paenibacillus polymyxa* KB); для конюшини — Ризобіфит (на основі *Rhizobium leguminosarum* sv. *trifolii* 348a); для жита озимого — Діазобактерин (на основі *Azospirillum brasilense* 18-2); для картоплі — Біогран (на основі *Azospirillum brasilense* 410 і фізіологічно активних речовин біологічного походження); для вівса — Мікрогумін (на основі *Azospirillum brasilense* 410); для люпину вузьколистого — Ризогумін (на основі *Bradyrhizobium lupini* 5500/4). Препарати застосовували відповідно до рекомендацій [9].

Облік урожаю здійснювали з кожної ділянки. Отримані результати перераховували на гектарну площу.

Продуктивність сівозмін у кормових одиницях (к. од.) розраховували, беручи до уваги урожайність культур і відповідні коефіцієнти: для пшениці озимої та ярої — 1,2; кукурудзи — 1,34; конюшини — 0,2; жита озимого — 1,18; картоплі — 0,3; вівса — 1,0; люпину — 1,16 [10].

Розрахунок показників економічної ефективності застосування біопрепаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур досліджуваних сівозмін проведено з використанням методик [11; 12] і загальноприйнятих методичних підходів, що базуються на порівнянні результатів від застосування певного агрозаходу з витратами на його проведення. З цією метою досліджено такі основні показники економічної ефективності, як додатковий прибуток від застосування біопрепаратів та окупність додатковим прибутком додаткових витрат, пов'язаних із застосуванням біопрепаратів. До визначення витрат на їхнє застосування включено як ті показники, що безпосередньо пов'язані з інокуляцією (прямі витрати: вартість препарату, витрати на проведення бактеризації, витрати на доробку й транспортування додаткового врожаю тощо), так і показники накладних витрат, які під час калькулювання собівартості продукції розподіляють пропорційно до прямих. З цією метою розраховано повну собівартість продукції, оскільки при-

буток як один із кінцевих показників економічної ефективності визначають як різницю між ціною та повною собівартістю продукції. У разі використання такого методологічного та методичного підходу дещо підвищується розрахунковий рівень витрат на використання біопрепаратів, але водночас зазначене сприяє об'єктивнішій оцінці економічної ефективності досліджуваних агрозаходів.

Оскільки польові дослідження проведено на порівняно невеликих за розмірами ділянках стаціонарних дослідів, для розрахунку економічної ефективності різних варіантів дослідів застосовано моделювання технологічних витрат в умовах виробничих масштабів з використанням типових технологій вирощування сільськогосподарських культур. При цьому основні агротехнічні операції, нормативи витрат ресурсів й алгоритм калькулювання продукції прийнято на основі методик [13; 14] з урахуванням додаткових операцій і витрат, пов'язаних із застосуванням досліджуваних мікробних препаратів. Ціни на основні види ресурсів і сільськогосподарську продукцію прийнято на середньому рівні 2023–2024 рр. згідно зі статистичними даними.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз показників, отриманих для зернової сівозміни, демонструє певну строкатість прояву економічної ефективності застосування біопрепаратів для окремих сільськогосподарських культур залежно від їхніх агрономічних

особливостей, ринкової кон'юнктури, характеристик препарату тощо, поряд із чіткою тенденцією до їхнього позитивного впливу. Проте узагальнення отриманих результатів свідчить, що застосування біопрепаратів загалом по сівозміні сприяло суттєвому підвищенню її продуктивності — на 0,31–0,82 т к. од. у розрахунку на 1 га сівозміної площі, або на 5,7–16,1%. За порівняно незначних додаткових витрат у розмірі 113–192 грн/га, або 0,5–1,0%, збільшення прибутку становило 1 434–3 817 грн/га з окупністю 12,66–19,90 грн/грн (табл. 3).

Наведені результати наочно демонструють меншу економічну ефективність застосування біопрепаратів у варіантах із гноєм порівняно з використанням інших видів добрив. Зазначене зумовлено, як наголошується у [15–17], тим, що інтродуковані з біопрепаратом в агроценоз бактерії стикаються з конкуренцією привнесених із гноєм мікроорганізмів, особливо в перший рік його дії. Водночас доповнення систем удобрення сидеральними культурами сприяє помітному підвищенню окупності застосування біопрепаратів.

Основні розрахункові показники економічної ефективності застосування біопрепаратів в іншій досліджуваній сівозміні (картопляно-зерновій) наведено в табл. 4.

Узагальнення показників по цій сівозміні також свідчить про високу економічну ефективність біопрепаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Так, застосування препаратів сприяє помітному підвищенню її продуктивності — на 0,23–0,63 т к. од. у розра-

Таблиця 3

**Основні розрахункові показники економічної ефективності застосування біологічних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур зернової сівозміни (у розрахунку на 1 га сівозміної площі)**

| Варіанти дослідів<br>(середньосівозмінні норми<br>добрив)                             | Продук-<br>тивність<br>без пре-<br>паратів,<br>т к. од./га | За використання біологічних препаратів |                 |      |                      |     |                                   |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|------|----------------------|-----|-----------------------------------|-----------------------|
|                                                                                       |                                                            | продуктивність                         |                 |      | додаткові<br>витрати |     | додатковий<br>прибуток,<br>грн/га | окупність,<br>грн/грн |
|                                                                                       |                                                            | т к.<br>од./га                         | приріст         |      |                      |     |                                   |                       |
|                                                                                       |                                                            |                                        | т к.<br>од. /га | %    | грн/га               | %   |                                   |                       |
| Без добрив, контроль                                                                  | 2,56                                                       | 2,87                                   | 0,31            | 12,1 | 113                  | 1,0 | 1 434                             | 12,66                 |
| N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                                       | 4,41                                                       | 4,93                                   | 0,52            | 11,8 | 150                  | 0,7 | 2 407                             | 16,08                 |
| Сидерат (люпин) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                     | 5,08                                                       | 5,90                                   | 0,82            | 16,1 | 192                  | 0,9 | 3 817                             | 19,90                 |
| Сидерат (жито) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                      | 5,17                                                       | 5,94                                   | 0,77            | 14,9 | 188                  | 0,9 | 3 590                             | 19,11                 |
| Гній (10 т/га) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                      | 5,59                                                       | 5,91                                   | 0,32            | 5,7  | 117                  | 0,5 | 1 507                             | 12,86                 |
| Сидерат (люпин) + гній<br>(10 т/га) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub> | 6,38                                                       | 6,85                                   | 0,47            | 7,4  | 147                  | 0,6 | 2 297                             | 15,58                 |
| Гній (20 т/га)                                                                        | 5,78                                                       | 6,13                                   | 0,35            | 6,1  | 118                  | 0,7 | 1 632                             | 13,89                 |

Джерело: сформовано авторами на основі власних розрахунків.

Таблиця 4

**Основні розрахункові показники економічної ефективності застосування  
біологічних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур  
картопляно-зернової сівозміни (у розрахунку на 1 га сівозмінної площі)**

| Варіанти дослідів<br>(середньосівозмінні норми<br>добрив)                             | Продук-<br>тивність<br>без пре-<br>паратів,<br>т к. од./га | За використання біологічних препаратів |                 |      |                      |     |                                   |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|------|----------------------|-----|-----------------------------------|-----------------------|
|                                                                                       |                                                            | продуктивність                         |                 |      | додаткові<br>витрати |     | додатковий<br>прибуток,<br>грн/га | окупність,<br>грн/грн |
|                                                                                       |                                                            | т к.<br>од./га                         | приріст         |      |                      |     |                                   |                       |
|                                                                                       |                                                            |                                        | т к.<br>од. /га | %    | грн/га               | %   |                                   |                       |
| Без добрив, контроль                                                                  | 1,95                                                       | 2,18                                   | 0,23            | 11,8 | 422                  | 1,5 | 1 992                             | 4,72                  |
| N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                                       | 3,64                                                       | 4,03                                   | 0,39            | 10,7 | 522                  | 1,4 | 4 029                             | 7,71                  |
| Сидерат (люпин) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                     | 3,98                                                       | 4,49                                   | 0,51            | 12,8 | 586                  | 1,5 | 5 325                             | 9,09                  |
| Сидерат (жито) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                      | 3,92                                                       | 4,40                                   | 0,48            | 12,2 | 577                  | 1,5 | 5 124                             | 8,88                  |
| Гній (10 т/га) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                      | 4,31                                                       | 4,77                                   | 0,46            | 10,7 | 563                  | 1,4 | 4 845                             | 8,60                  |
| Сидерат (люпин) + гній<br>(10 т/га) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub> | 4,72                                                       | 5,35                                   | 0,63            | 13,3 | 646                  | 1,5 | 6 596                             | 10,21                 |
| Гній (20 т/га)                                                                        | 4,01                                                       | 4,40                                   | 0,39            | 9,7  | 510                  | 1,5 | 3 844                             | 7,54                  |

Джерело: сформовано авторами на основі власних розрахунків.

хунку на 1 га сівозмінної площі, або на 9,7–13,3%. За порівняно незначних додаткових витрат у розмірі 422–646 грн/га, або 1,4–1,5%, збільшення прибутку становило 1 992–6 596 грн/га з їх окупністю 4,72–10,21 грн/грн. Як і в попередніх випадках, спостерігаються нижчий рівень ефективності застосування біопрепарату в системі удобрення, що базується виключно на застосуванні гною, і підвищення у разі додавання до гною інших видів добрив.

Окремо слід підкреслити, що неодноразово доведений ефект підвищення ступеня засвоєння елементів живлення добрив за використання біопрепаратів [18–20] в економічному сенсі проявляється в підвищенні економічної окупності добрив за інокуляції. Так, за показниками табл. 5 видно, що в обох досліджуваних сівозмінах окупність добрив за інокуляції зросла на 0,01–0,30 грн/грн.

Таблиця 5

**Розрахункові показники окупності додаткових витрат на добрива  
додатковим прибутком, грн/грн**

| Варіанти дослідів<br>(середньосівозмінні<br>норми добрив)                             | Зернова сівозміна              |                            |         | Картопляно-зернова сівозміна   |                            |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------|---------|
|                                                                                       | окупність<br>без<br>інокуляції | окупність<br>за інокуляції | приріст | окупність<br>без<br>інокуляції | окупність за<br>інокуляції | приріст |
| Без добрив, контроль                                                                  | ×                              | ×                          | ×       | ×                              | ×                          | ×       |
| N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                                       | 0,01                           | 0,11                       | 0,10    | 0,95                           | 1,14                       | 0,19    |
| Сидерат (люпин) +<br>N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                  | 0,17                           | 0,40                       | 0,23    | 1,03                           | 1,29                       | 0,26    |
| Сидерат (жито) +<br>N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                   | 0,29                           | 0,50                       | 0,21    | 1,09                           | 1,35                       | 0,26    |
| Гній (10 т/га) +<br>N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>                   | 0,32                           | 0,33                       | 0,01    | 1,24                           | 1,41                       | 0,17    |
| Сидерат (люпин) + гній<br>(10 т/га) + N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub> | 0,49                           | 0,55                       | 0,06    | 1,31                           | 1,61                       | 0,30    |
| Гній (20 т/га)                                                                        | 2,54                           | 2,58                       | 0,04    | 3,81                           | 4,10                       | 0,29    |

Джерело: сформовано авторами на основі власних розрахунків.

## ВИСНОВКИ

За результатами проведеного аналізу впливу мікробних препаратів (зокрема передпосівної інокуляції насіннєвого матеріалу в технологіях вирощування сільськогосподарських культур) на показники виробництва можна зробити висновки, що зазначений агроприйом сприяє підвищенню економічної ефективності виробництва, передусім за рахунок виперед-

жального зростання продуктивності порівняно з додатковими витратами. Застосування біологічних препаратів також сприяє зростанню економічної окупності добрив унаслідок підвищення ступеня засвоєння рослинами елементів живлення.

Зазначене дає змогу оптимізувати дози внесення, зокрема мінеральних добрив, з урахуванням цінних параметрів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Козар, С. Ф., Халеп, Ю. М., Євтушенко, Т. А., & Вороная, О. В. (2023). Економічна та енергетична ефективність інокуляції гороху за вирощування культури в системі органічного виробництва. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 38, 51–58. doi: 10.35868/1997-3004.38.51-58
2. Цехмістер, Г. В., Халеп, Ю. М., & Хареба, О. В. (2021). Економічна й енергетична ефективність передпосівної обробки насіння огірків грибом *Trichoderma viride*. *Вісник аграрної науки*, 99(9), 72–79. doi: 10.31073/agrovisnyk202109-10
3. Логоша, О. В., Халеп, Ю. М., & Воробей, Ю. О. (2020). Економічна та біоенергетична ефективність бактеризації нуту штамом *Mesorhizobium ciceri* ND-64. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 31, 64–71. doi: 10.35868/1997-3004.31.64-71
4. Білоконська, О. М., Халеп, Ю. М., & Козар, С. Ф. (2020). Економічна та енергетична ефективність бактеризації *Azotobacter chroococcum* 2.1 за вирощування огірка. *Агроекологічний журнал*, 2, 69–76. doi: 10.33730/2077-4893.2.2020.207683
5. Халеп, Ю. М., & Кислинська, А. С. (2019). Економічна та біоенергетична ефективність комплексної передпосівної обробки насіння гречки Хетоміком та Діазобактерином. *Вісник аграрної науки*, 8(797), 73–79. doi: 10.31073/agrovisnyk201908-12
6. Халеп, Ю. М., & Козар, С. Ф. (2016). Економічна та енергетична ефективність комплексної бактеризації при вирощуванні сої. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 23, 24–29. doi: 10.35868/1997-3004.23.24-29
7. Чучвага, І. Г., & Халеп, Ю. М. (2014). Економічна та енергетична ефективність застосування Діазобактерину та мінеральних добрив у технології вирощування жита озимого. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 19, 53–60. doi: 10.35868/1997-3004.19.53-60
8. Халеп, Ю. М., Козар, С. Ф., & Євтушенко, Т. А. (2013). Економічна та енергетична ефективність застосування Бактопасльону в технології вирощування картоплі. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 17, 159–169. doi: 10.35868/1997-3004.17.159-169
9. Волкогон, В. В. (Ред.). (2015). *Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях: науково-практичні рекомендації*. Київ.
10. Державний комітет статистики України. (2008, 24 січня). Про затвердження Методичних рекомендацій щодо проведення розрахунків витрат кормів сільськогосподарським тваринам у господарствах усіх категорій (Наказ № 18). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0018202-08#Text>
11. Трибель, С. О., Січкарьова, Д. Д., Секунд, М. П., Івашенко, О. О., Мережинський, Ю. Г., Черній, А. М., ... Чабан, В. С. (2001). *Методики випробування і застосування пестицидів* (С. О. Трибель, Ред.). Київ: Світ.
12. Определение экономической эффективности в земледелии и животноводстве разработок по сельскохозяйственной микробиологии: методические рекомендации. (1991). Чернигов: УкрНИИСХМ УААН.
13. Саблук, П. Т., Мельник, Ю. Ф., Зубець, М. В., & Месель-Веселяк, В. Я. (Ред.). (2008). *Ціноутворення та нормативні витрати в сільському господарстві: теорія, методологія, практика* (Т. 1: Теорія ціноутворення та технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур). Київ.
14. Саблук, П. Т., Мельник, Ю. Ф., Зубець, М. В., & Месель-Веселяк, В. Я. (Ред.). (2008). *Ціноутворення та нормативні витрати в сільському господарстві: теорія, методологія, практика* (Т. 2: Нормативна собівартість і ціни на сільськогосподарську продукцію). Київ.
15. Волкогон, В. В., Дімова, С. Б., Волкогон, К. І., & Сидоренко, В. П. (2020). Ефективність мікробних препаратів за різних систем удобрення сільськогосподарських культур. *Вісник аграрної науки*, 6(807), 5–14. doi: 10.31073/agrovisnyk202006-01
16. Sydorenko, V. P., Dimova, S. B., Volkogon, K. I., Lutsenko, N. V., Shtanko, N. P., & Zemska, I. A. (2020). Efficiency of pre-sowing inoculation in cultivation of agricultural crops under different organic agrarian backgrounds. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 32, 18–34. doi: 10.35868/1997-3004.32.18-34
17. Volkogon, V. V., Dimova, S. B., Volkogon, K. I., Sidorenko, V. P., & Volkogon, M. V. (2021). Biological nitrogen fixation and denitrification in rhizosphere of potato plants in response to the fertilization and inoculation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606379. doi: 10.3389/fsufs.2021.606379
18. Волкогон, В. В., Дімова, С. Б., Волкогон, К. І., Борулько, Р. О., & Бердніков, О. М. (2010). Вплив мікробних препаратів на засвоєння культурними рослинами поживних речовин. *Вісник аграрної науки*, 5, 25–28.
19. Волкогон, В. В., Бердніков, О. М., Дімова, С. Б., Волкогон, К. І., & Штанько, Н. П. (2012). Засвоєння культурними рослинами поживних речовин за впливу мікробних препаратів. *Вісник ХНАУ*, 3, 84–89.
20. Volkogon, V. V., Moskalenko, A. M., Dimova, S. B., Volkogon, K. I., & Potapienko, L. V. (2022). The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strain 410 on spring barley cv. Nosivsky development and yield. *Agricultural Science and Practice*, 9(3), 64–75. doi: 10.15407/agrisp9.03.064

**ECONOMIC EFFICIENCY OF MICROBIAL PREPARATIONS  
FOR GROWING AGRICULTURAL CROPS IN VARIOUS CROP ROTATIONS****Parkhomenko M.**

Postgraduate Student

Institute of Agricultural Microbiology and Agro-Industrial Production of NAAS  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)e-mail: miroslav.parkhomenko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8804-0813>**Khalep Yu.**

Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher

Institute of Agricultural Microbiology and Agro-Industrial Production of NAAS (Chernihiv, Ukraine)

e-mail: markisgm2017@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9684-5547>

*The economic efficiency of using biological products in the technologies of growing crops in two short-rotation crop rotations — grain and potato-grain — was assessed, and the economic payback of fertilizers was determined. The calculation of the economic efficiency indicators of using microbial products was performed using generally accepted methodological approaches based on comparing the results of using a certain agricultural measure with the costs of its implementation. Research methods: modeling, computational-constructive, comparative analysis. Based on the results of the analysis, it was concluded that pre-sowing seed inoculation contributes to increasing the economic efficiency of production, primarily due to the faster growth of productivity compared to additional costs. The use of microbial products also leads to an increase in the economic payback of fertilizers due to an increase in the degree of assimilation of nutrients by plants. This makes it possible to optimize the rates of mineral fertilizer application, taking into account price parameters. Despite the certain variability of the results obtained when growing individual crops, the analysis of indicators generalized by crop rotation indicates the economic feasibility of using the specified means of production biologization.*

**Keywords:** pre-sowing inoculation, additional costs, additional profit, payback.**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**ПАРХОМЕНКО Мирослав Миколайович** — здобувач ступеня доктора філософії, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, Україна, 14027); завідувач навчально-наукової лабораторії екологічно сталого природокористування кафедри аграрних технологій та лісового господарства, Національний університет “Чернігівська політехніка” (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, Україна, 14030; e-mail: miroslav.parkhomenko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8804-0813>).

**ХАЛЕП Юрій Миколайович** — кандидат економічних наук, старший дослідник, заступник директора з наукової та інноваційної діяльності, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, Україна, 14027; e-mail: markisgm2017@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9684-5547>).

## ЕЛЕМЕНТИ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ ТА ВРОЖАЙНІСТЬ ПРОСА ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ

**М. В. Гордієнко**

аспірант

Національний науковий центр «Інститут землеробства  
Національної академії аграрних наук України»

(с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна)

e-mail: Mykolagordienko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-7319-1887>

**Р. Є. Грищенко**

кандидат сільськогосподарських наук

Національний науковий центр «Інститут землеробства  
Національної академії аграрних наук України»

(с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна)

e-mail: grischenko.raisa@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6503-6034>

Мета дослідження — визначити вплив варіантів основного удобрення, позакореневого підживлення орґано-мінеральним добривом у критичні періоди розвитку рослин проса, передпосівного оброблення насіння біопрепаратом, а також їх поєднання в технології вирощування на формування елементів структури врожаю та врожайності культури. Методи: польовий (для вивчення взаємодії об'єкта досліджень із біотичними та абіотичними чинниками), морфологічний (для біологічного контролю за розвитком елементів продуктивності за етапами орґаногенезу), статистичний (для обробки результатів досліджень) і порівняльно-розрахунковий. У статті представлено результати щодо впливу досліджуваних агрозаходів і їх поєднання в технології вирощування на формування елементів структури врожаю та на рівень урожайності проса. Проаналізовано залежність урожайності культури від елементів структури врожаю. Залежність рівня врожайності від довжини волоті на кількості гілочок була середньою ( $r=0,485, 0,649$  і  $0,508$ ), а від маси волоті, кількості зерен і їх масою — сильною прямою ( $r=0,798, 0,876$  і  $0,835$ ). В умовах Правобережного Лісостепу для максимальної реалізації сортового потенціалу технологія вирощування проса повинна передбачати внесення  $N_{45}P_{60}K_{60}$  в основне удобрення та  $N_{15}$  у підживлення у фазі кушіння, сімбу насінням, обробленим препаратом Азогран, і позакореневе підживлення рослин орґано-мінеральним добривом Браман мультикомплес у фазі кушіння. За вказаної моделі технології вирощування формувалась урожайність  $5,08$  т/га за показника на абсолютному контролі  $3,37$  т/га. Виявлені закономірності формування врожайності проса залежно від системи удобрення та передпосівного оброблення насіння є важливим чинником у подальшому вдосконаленні технології вирощування культури.

**Ключові слова:** довжина волоті, маса волоті, кількість гілочок, маса зерна з волоті, маса 1000 зерен, удобрення, передпосівне оброблення насіння, позакореневе підживлення.

### ВСТУП

Просо посівне (*Panicum miliaceum* L.) належить до нішевих, але стратегічно важливих злакових культур [1]. Його також розглядають як елемент адаптації землеробства до кліматичних змін і покращення родючості деградованих ґрунтів.

Особливостями культури є короткий період вегетації та C4-тип фотосинтезу, що зумовлюють її високу посухостійкість, здатність формувати врожай за умов нестійкого зволоження та обмеженого забезпечення елементами живлення [2–4].

**Мета проведення досліджень** — визначити вплив варіантів основного удобрення, позакореневого підживлення орґано-мінеральним добривом у критичні періоди розвитку рослин проса, передпосівного оброблення насіння біопрепаратом, а також їх поєднання в технології вирощування на формування елементів структури врожаю та врожайності культури. Аналіз закономірностей формування врожайності дасть змогу визначити оптимальний варіант технології вирощування проса й розробити заходи для забезпечення максимальної реалізації потенціалу сортів та отримання стабільно висо-

кого рівня врожайності цінної для харчування культури.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Поєднання посухостійкості й здатності ефективно використовувати ресурси живлення за короткий період вегетації є ключовою перевагою проса порівняно з іншими ярими злаками [2; 5].

Коренева система проса добре розвинена та розгалужена (проникає в ґрунт на глибину 1,2–1,5 м і в сторони на 1,0–1,2 м). Вона повільно розвивається на початкових етапах, тому потребує наявності в поверхневому шарі ґрунту доступних поживних речовин [6]. Як стверджує J. Jacob зі співавт., просо посівне вирізняється доволі розвинутою кореневою системою з порівняно високою розгалуженістю коренів (особливо у верхньому шарі ґрунту), що сприяє ефективнішому використанню запасів продуктивної вологи й рухомих форм елементів живлення [7].

Вимогливість проса до родючості ґрунту зумовлена також коротким періодом споживання основних елементів живлення [8]. З урожаєм 1 т зерна й відповідною кількістю побічної продукції просо звичайне виносить із ґрунту 30 кг азоту, 15 кг фосфору, 35 кг калію, 10 кг кальцію та 7,5 кг магнію [9; 10].

Для проса як С4-культури характерна вища ефективність використання азоту та води порівняно з багатьма С3-зерновими, особливо в умовах підвищених температур [3]. Просо виявляє підвищені вимоги до вмісту азоту в ґрунті, особливо в період інтенсивного росту вегетативної маси, до фосфору — з початку вегетації, до калію — протягом усієї вегетації [11]. Найбільш активне засвоєння поживних речовин відбувається від фази куціння до цвітіння, а у фазі стеблуння, коли відбувається посилений ріст і формування генеративних органів, до рослини надходить близько 70% азоту, 60% фосфору та практично весь необхідний калій [12].

Для оптимізації мінерального живлення проса важливим є використання в системі удобрення мікродобрив. Мікроелементи, що входять до складу мікродобрив, беруть участь у багатьох фізіологічних і біохімічних процесах, які відбуваються в рослинах [13; 14].

Підвищення рівня мінерального живлення проса сприяло збільшенню кількості волотей на рослину, довжини волоті, маси зерна з рослини, маси 1000 зерен і, відповідно, урожайності [15; 16]. Це свідчить про те, що формування структури врожаю проса значно залежить від забезпечення рослин елементами живлення.

Деякі дослідники зазначають, що за суттєвого його збільшення спостерігається зростання вмісту NPK у зерні й соломі і, відповідно, підвищення виносу елементів на одиницю врожаю, що підкреслює інтенсивний характер живлення проса за достатнього забезпечення ними [15]. Як стверджує низка дослідників, значна частка азоту та фосфору концентрується в зерні проса, тоді як калій більшою мірою залишається в соломі [5; 17].

Рівень реалізації потенціалу продуктивності сортів проса істотно залежить від елементів технології вирощування: системи удобрення, передпосівного оброблення насіння, норми його висіву, використання мікродобрив, стимуляторів росту та розвитку тощо. Ці контрольовані чинники значною мірою визначають формування елементів структури врожаю (кількість продуктивних стебел, біометричні показники волоті, кількість і маса 1000 зерен тощо). Для умов Правобережного Лісостепу кількість узагальнених даних про вплив різних систем живлення та біопрепаратів на формування елементів структури врожаю і врожайність проса залишається незначною, що зумовлює актуальність проведених досліджень.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження з просом посівним проводили на стаціонарному полі відділу технологій зернобобових, круп'яних та олійних культур. Ґрунт дослідної ділянки — темно-сірий опідзолений крупнопилувато-легкосуглинковий, у шарі 0–20 см якого вміст гумусу (за Тюрнімом) становив 1,49–1,71%, азоту, що легко гідролізується (за Корнфілдом) — 68,6–78,4 мг/кг, фосфору — 140–160 мг/кг, калію (за Кірсановим) — 55–70 мг/кг ґрунту,  $pH_{\text{сол}}$  — 5,2–5,7. Згідно з ДСТУ 4362:2004 [18] ґрунт характеризується низьким вмістом гумусу, дуже низьким вмістом азоту, що гідролізується, високим вмістом фосфору та низьким вмістом калію; за кислотністю належить до слабокислих і близьких до нейтральних.

Схема досліду передбачала вивчення впливу варіантів удобрення: без добрив (контроль);  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ;  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + прикореневе підживлення рослин Майстер Агро (IV е. о.) у нормі 0,7 кг/га;  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + N15 (IV е. о.); позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Браман мультикомплекс у нормі 2 л/га: без підживлення, підживлення на IV і VII етапах органогенезу. Передпосівне оброблення насіння: без оброблення, оброблення біопрепаратом Азогран.

Просо сорту Заповітне висівали звичайним рядковим способом з нормою 4,0 млн/га схожих

насінин у першій декаді травня. Попередником проса була пшениця озима, солому якої після збирання подрібнювали та заробляли в ґрунт дисковими знаряддями й пізніше приорювали. Агротехніка відповідала рекомендованій у зоні проведення досліджень технології вирощування круп'яних культур, за винятком агрозаходів, що вивчали.

Дослід закладали й проводили дослідження відповідно до методики проведення наукових досліджень в агрономії [19].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Рівень урожайності культури, зокрема проса, визначають елементи структури врожаю, а саме довжина й маса волоті, її розгалуженість, про яку свідчать гілочки першого й другого порядків, кількість зерен у волоті та їх маса, а також маса 1000 зерен. Як показав аналіз отриманих результатів, досліджувані агрозаходи мали значний вплив на формування елементів структури врожаю проса (табл. 1).

Таблиця 1

**Показники елементів структури врожаю проса залежно від варіанту удобрення та оброблення насіння, середнє за 2023–2025 рр.**

| Мінеральні добрива,<br>кг/га д.р.                                 | Маса<br>волоті, г | Довжина<br>волоті,<br>см | Кількість гілочок,<br>шт., порядків |          | Зерен<br>у волоті,<br>шт. | Маса<br>зерна з<br>волоті, г | Маса<br>1000<br>зерен, г |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                                                                   |                   |                          | I                                   | II       |                           |                              |                          |
| Без оброблення насіння (контроль)                                 |                   |                          |                                     |          |                           |                              |                          |
| Без добрив (контроль)                                             | 4,92              | 26,0                     | 13,1                                | 64,7     | 410                       | 3,28                         | 8,00                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 5,79              | 27,5                     | 14,0                                | 76,1     | 563                       | 4,71                         | 8,36                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 6,06              | 27,1                     | 14,3                                | 72,5     | 559                       | 4,50                         | 8,05                     |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 5,69              | 27,0                     | 14,6                                | 77,4     | 579                       | 4,69                         | 8,10                     |
| Позакореневе підживлення рослин у фазі куціння                    |                   |                          |                                     |          |                           |                              |                          |
| Без добрив                                                        | 5,05              | 24,8                     | 13,9                                | 65,8     | 453                       | 3,59                         | 7,93                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 5,72              | 26,0                     | 14,7                                | 73,6     | 606                       | 4,43                         | 8,13                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 5,98              | 25,9                     | 14,8                                | 64,2     | 638                       | 5,23                         | 8,20                     |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 6,58              | 27,0                     | 15,7                                | 82,1     | 658                       | 5,36                         | 8,14                     |
| Позакореневе підживлення рослин у фазі викидання волоті           |                   |                          |                                     |          |                           |                              |                          |
| Без добрив                                                        | 4,95              | 26,1                     | 14,0                                | 79,3     | 488                       | 4,01                         | 8,22                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 5,90              | 28,4                     | 14,6                                | 82,8     | 593                       | 5,09                         | 8,58                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 5,25              | 26,1                     | 14,4                                | 83,2     | 639                       | 4,96                         | 7,76                     |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 5,70              | 25,3                     | 15,9                                | 85,4     | 615                       | 4,91                         | 7,98                     |
| Оброблення насіння препаратом Азогран                             |                   |                          |                                     |          |                           |                              |                          |
| Без добрив                                                        | 4,99              | 28,2                     | 13,6                                | 67,5     | 451                       | 3,68                         | 8,16                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 5,95              | 26,4                     | 15,2                                | 78,9     | 572                       | 4,76                         | 8,32                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 6,30              | 27,4                     | 16,1                                | 83,2     | 563                       | 4,64                         | 8,24                     |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 5,70              | 27,6                     | 14,9                                | 78,2     | 589                       | 4,92                         | 8,37                     |
| Азогран + Браман мультикомплекс у фазі куціння                    |                   |                          |                                     |          |                           |                              |                          |
| Без добрив                                                        | 5,17              | 25,1                     | 14,5                                | 73,4     | 505                       | 4,21                         | 8,34                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 6,32              | 28,1                     | 15,0                                | 80,0     | 633                       | 5,13                         | 8,11                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 6,08              | 29,1                     | 15,2                                | 86,1     | 662                       | 5,37                         | 8,11                     |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 6,66              | 29,8                     | 16,2                                | 89,1     | 724                       | 6,01                         | 8,30                     |
| Азогран + Браман мультикомплекс у фазі викидання волоті           |                   |                          |                                     |          |                           |                              |                          |
| Без добрив                                                        | 6,01              | 27,1                     | 15,0                                | 80,7     | 590                       | 5,07                         | 8,59                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 6,60              | 28,5                     | 16,1                                | 85,6     | 651                       | 5,16                         | 7,93                     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 6,05              | 27,4                     | 16,9                                | 85,6     | 593                       | 4,96                         | 8,37                     |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 6,45              | 28,4                     | 15,0                                | 85,8     | 627                       | 5,06                         | 8,07                     |
| $\bar{X} \pm S\bar{x}$                                            | 5,83±0,11         | 27,1±0,3                 | 14,9±0,2                            | 78,4±1,5 | 582±15                    | 4,74±0,13                    | 8,18±0,04                |
| V, %                                                              | 9,2               | 4,8                      | 6,1                                 | 9,3      | 12,9                      | 13,2                         | 2,4                      |
| НІР <sub>05</sub>                                                 | 0,32              | 0,8                      | 0,5                                 | 4,3      | 44                        | 0,37                         | 0,12                     |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Залежно від варіанту технології вирощування культури значно різнилися показники довжини волоті та її маси. Внесення мінеральних добрив забезпечило формування волоті на 1,0–1,3 см довшої порівняно з варіантами без їх внесення (26,2 см). Передпосівне оброблення насіння препаратом Азогран сприяло зростанню довжини волоті проса в середньому в досліді на 1,4 см порівняно з варіантами без проведення агрозаходу, де показник перебував на рівні 26,4 см. Позакореневе підживлення не впливали позитивно на збільшення рівня цього показника.

У варіантах із внесенням мінеральних добрив відзначали зростання маси волоті на 0,78–0,90 г за показника у варіантах без добрив 5,18 г. Оброблення насіння препаратом Азогран стимулювало її збільшення на 7,5% порівняно з варіантами без проведення агрозаходу (5,61 г). Позакореневе підживлення рослин у фазі куціння забезпечило зростання показника на 0,16 г, у фазі викидання волоті — на 0,32 г за його рівня у варіантах без підживлення рослин 5,66 г.

З розгалуженістю волотей, формуванням кількості гілочок першого та другого порядків тісно пов'язані процеси формування зернової продуктивності рослин. У варіантах із внесенням мінеральних добрив у волоті кількість гілочок першого порядку зростала на 0,9–1,3 шт., або на 6,4–10,0%, гілочок другого порядку — на 7,6–11,1 шт., або на 10,6–15,4%, порівняно з варіантами без застосування добрив, де показники становили 14,0 і 71,9 шт. відповідно. Передпосівне оброблення насіння зумовило збільшення кількості гілочок першого порядку у волоті на 0,8 шт., або на 5,5%, і гілочок другого порядку — на 4,8 шт., або на 6,3%. У варіантах, які не передбачали оброблення насіння, показники становили 14,5 і 76,4 шт. відповідно. Позакореневе підживлення рослин у фазі куціння сприяло зростанню кількості гілочок першого порядку на 0,5 шт., або на 3,4%, другого — на 3,2 шт., або на 4,3%. Підживлення рослин проса у фазі викидання волоті забезпечило збільшення кількості гілочок першого порядку на 0,8 шт., або на 5,5%, другого порядку — на 8,7 шт., або на 11,6%, за показників у варіантах без проведення агрозаходу 14,5 і 74,9 шт. відповідно.

Кількість зерен у волоті значно залежала від досліджуваних агрозаходів. Найбільший вплив на рівень показника мали мінеральні добрива. Їх застосування сприяло зростанню кількості зерен на 120–132 шт., або на 24,8–27,4%, за рівня у варіантах без проведення агрозаходу 483 шт. Найсприятливіші умови відзначали у варіантах за внесення  $N_{45}P_{60}K_{60}$  та перенесення частини азотних ( $N_{15}$ ) у підживлення —

зростання кількості зерен у волоті було максимальним у досліді — 132 шт. Передпосівне оброблення насіння стимулювало збільшення кількості зерен у волоті лише на 21 шт., або на 3,7%, за показника у варіантах без оброблення насіння 567 шт. Позакореневе підживлення рослин проса забезпечило збільшення кількості зерен у волоті в середньому на 45 і 66 шт., або на 8,0–12,3%, за рівня у варіантах без проведення агрозаходу 536 шт.

Маса зерна з волоті є підсумком діяльності рослини впродовж періоду вегетації в умовах, що значною мірою визначалися агрозаходами, взятими для дослідження. У варіантах із застосуванням мінеральних добрив маса зерна у волоті зростала на 0,91–1,19 г, або на 22,9–30,0%, за рівня у варіантах без добрив 3,97 г. Передпосівне оброблення насіння препаратом Азогран сприяло збільшенню маси зерна з волоті в середньому на 0,38 г, або на 8,3%, за рівня показника у варіантах без оброблення насіння 4,56 г. У варіантах із позакореневим підживленням рослин у фазі куціння маса зерна з волоті зростала на 0,56 г, або на 12,7%, у фазі викидання волоті — на 0,50 г, або на 11,4%, за показника у варіантах без проведення агрозаходу 4,40 г.

Показник маси 1000 зерен у досліді в середньому за три роки перебував у межах від 7,76 до 8,59 г. Зростання рівня показника відзначали лише за передпосівного оброблення насіння препаратом Азогран — воно становило 0,13 г, або 1,6%, за показника у варіантах без проведення агрозаходу 8,11 г. За внесення мінеральних добрив і проведення позакореневого підживлення у критичні для рослин проса фази росту та розвитку відбувалося збільшення кількості зерен у волоті, але не зростання маси 1000 зерен.

Урожайність посівів проса визначається масою зерна з волоті та кількістю рослин на одиниці площі, яка збереглася до фази повної стиглості. Як свідчить аналіз отриманих результатів, у досліді вона значно залежала від досліджуваних агрозаходів (табл. 2).

Внесення мінеральних добрив сприяло зростанню рівня врожайності на 0,81–1,19 т/га, або на 23,1–33,9%, за показника у варіантах без добрив 3,51 т/га. У варіантах, сівбу яких провели обробленим насінням, урожайність сформувалася більшою на 0,09 т/га, або на 2,1%, порівняно з її рівнем у варіантах без проведення агрозаходу (4,20 т/га). Позакореневе підживлення рослин у фазі бутонізації зумовило зростання врожайності на 0,24 т/га, або на 5,8%, у фазі викидання волоті — на 0,06 т/га, або на 1,4%, за показника у варіантах без підживлення в середньому 4,15 т/га.

Таблиця 2

**Урожайність проса залежно від варіанту удобрення  
та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2023–2025 рр., т/га**

| Варіант                                                           | Позакореневе підживлення рослин |              |                       |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|
|                                                                   | без підживлення                 | фаза кущіння | фаза викидання волоті |
| <i>Без оброблення насіння</i>                                     |                                 |              |                       |
| Без добрив (контроль)                                             | 3,37                            | 3,47         | 3,40                  |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 4,37                            | 4,48         | 4,41                  |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 4,22                            | 4,36         | 4,29                  |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 4,46                            | 5,01         | 4,57                  |
| <i>Оброблення насіння препаратом Азогран</i>                      |                                 |              |                       |
| Без добрив (контроль)                                             | 3,56                            | 3,68         | 3,59                  |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>                   | 4,42                            | 4,50         | 4,44                  |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Майстер Агро    | 4,27                            | 4,48         | 4,31                  |
| N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>15</sub> | 4,48                            | 5,08         | 4,62                  |
| $\bar{X} \pm S\bar{x}$                                            | 4,14±0,15                       | 4,38±0,20    | 4,20±0,16             |
| V, %                                                              | 10,4                            | 12,9         | 10,8                  |
| НІР05                                                             |                                 | 0,28         |                       |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Найвищу врожайність проса в досліді (5,08 т/га за показника на абсолютному контролі 3,37 т/га) одержали у варіанті зі внесенням N<sub>45</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> + N<sub>15</sub>, передпосівним обробленням насіння препаратом Азогран і позакореневим підживленням рослин органо-мінеральним добривом Браман мультикомплекс у фазі кущіння. Максимальний рівень забезпечив агрофітоценоз, у якому склалися оптимальні умови для росту, розвитку й формування врожаю рослинами проса: сформувалася волоть довжиною 29,8 см, масою 6,66 г, з кількістю гілочок першого порядку 16,2 шт. і другого порядку 89,1 шт., кількістю зерен у волоті 624 шт. і масою зерна у волоті 6,01 г. На абсолютному контролі рослини формували волоть довжиною 26,0 см, масою 4,92 г, з кількістю гілочок першого порядку 13,1 шт. й другого порядку 64,7 шт., кількістю зерен у волоті 410 шт. і масою зерна у волоті 3,28 г.

Про кореляційну залежність урожайності проса від елементів структури врожаю свідчить проведений аналіз, результат якого показано в табл. 3.

Довжина волоті та кількість гілочок у ній мали середній вплив на рівень урожайності проса, тоді як маса волоті, кількість зерен і маса зерна з неї — сильний прямий.

Математична модель залежності врожайності проса від маси волоті та кількості зерна в ній має такий вигляд:

$$Y = 0,6150 + 2,9128X - 0,2297X^2 + 0,0179X_1 - 0,6611X_1^2,$$

де Y — урожайність, т/га; X — маса волоті, г; X<sub>1</sub> — зерен у волоті, шт.

Коефіцієнт множинної кореляції становить: R = 0,892; коефіцієнт детермінації D = 79,6%; критерій Фішера фактичний F<sub>ф</sub> = 18,42 за F<sub>табл.</sub> = 2,90; критерій Стюдента фактичний

Таблиця 3

**Показники парної кореляції врожайності проса з елементами структури врожаю,  
у середньому за 2023–2025 рр.**

| Показник | Маса волоті, г | Довжина волоті, см | Кількість гілочок, шт., порядків |       | Зерен у волоті, шт. | Маса зерна з волоті, г | Маса 1000 зерен, г |
|----------|----------------|--------------------|----------------------------------|-------|---------------------|------------------------|--------------------|
|          |                |                    | I                                | II    |                     |                        |                    |
| r        | 0,798          | 0,485              | 0,649                            | 0,608 | 0,876               | 0,835                  | -0,008             |
| d, %     | 63,6           | 23,5               | 42,2                             | 36,9  | 76,7                | 69,7                   | 0,01               |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

( $t_{\phi}$ ) для коефіцієнтів рівняння відповідно становить:  $a_1 = 31,68$ ,  $a_2 = 28,78$ ,  $a_3 = 27,16$ ,  $a_4 = 21,32$  за  $t_{\text{табл.}} = 2,06$ .

### ВИСНОВКИ

Урожайність зерна проса значно залежить від технології вирощування культури. Максимальну врожайність у досліді (5,08 т/га) за показника на абсолютному контролі 3,37 т/га одержали у варіанті, який передбачав внесення  $N_{45}P_{60}K_{60}$  в основне удобрення та перенесення частини азоту ( $N_{15}$ ) з основного в підживлення, сівбу насінням, обробленим препаратом Азогран, і позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Браман мульти-комплекс у фазі кущіння. У вказаному варіан-

ті склалися оптимальні умови для росту, розвитку та формування врожаю рослинами проса, про що свідчить зростання довжини волоті на 3,8 см, її маси — на 1,74 г, гілочок першого і другого порядку — на 3,1 і 24,4 шт. відповідно, на 214 зерен у волоті, маси зерна — на 2,73 г. На абсолютному контролі рослини формували волоть довжиною 26,0 см, масою 4,92 г, з кількістю гілочок першого порядку 13,1 шт. і другого порядку 64,7 шт., кількістю зерен у волоті 410 шт. і масою зерна у волоті 3,28 г. Залежність рівня врожайності від довжини волоті на кількості гілочок була середньою ( $r = 0,485, 0,649$  і  $0,508$ ), від маси волоті, кількості зерен і їх масою — сильною прямою ( $r = 0,798, 0,876$  і  $0,835$ ).

### ЛІТЕРАТУРА

1. Руднік, О. І., Шовгун, О. О., & Чухлеб, С. Л. (2008). Господарсько-цінні показники нових сортів проса. *Вісник аграрної науки*, 6, 28–30.
2. Habiyaemye, C., Matanguihan, J. B., D'Alpoim Guedes, J., Ganjyal, G. M., Whiteman, M. R., Kidwell, K. K., & Murphy, K. M. (2017). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) and its potential for cultivation in the Pacific Northwest, U.S.: A review. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1961. doi: 10.3389/fpls.2016.01961
3. Das, S., Khound, R., Santra, M., & Santra, D. K. (2019). Beyond bird feed: Proso millet for human health and environment. *Agriculture*, 9(3), 64. doi: 10.3390/agriculture9030064
4. Shi, X., Shen, J., Niu, B., Lam, S. K., Zong, Y., Zhang, D., ... Li, P. (2022). An optimistic future of C4 crop broom-corn millet (*Panicum miliaceum* L.) for food security under increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *PeerJ*, 10, e14024. doi: 10.7717/peerj.14024
5. Louhar, G., Bana, R. S., Kumar, V., & Kumar, H. (2021). Nutrient management technologies of millets for higher productivity and nutritional security. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90(12), 2243–2250. doi: 10.56093/ijas.v90i12.110267
6. Руднік-Івашенко, О. І. (2009). *Просо. Особливості біології, фізіології, генетики*. Київ: Колоб'іг.
7. Jacob, J., Krishnan, V., Antony, C., Bhavyasri, M., Aruna, C., Mishra, K., ... Visarada, K. B. R. S. (2024). The nutrition and therapeutic potential of millets: An updated narrative review. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1346869. doi: 10.3389/fnut.2024.1346869
8. Беленіхіна, А. В., & Костромітін, В. М. (2011). Просу — гідну увагу! *Агробізнес сьогодні*, 21–22, 15.
9. Полторецький, С. П., Білоножко, В. Я., & Полторецька, Н. М. (2017). Агроекологічні умови формування врожайності та якості насіння проса. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*, 1, 76–82.
10. Кващук, О. В., Сучек, М. М., Хоміна, В. Я., & Пастух, О. Д. (2013). *Круп'яні культури*. Кам'янець-Подільський: ПП "Медобори-2006".
11. Машенко, Ю., & Гайдено, О. (2019). Основні елементи технологій для підвищення урожайності проса. *Агробізнес сьогодні*, 9(400), 72–74.
12. Горбачова, С. М., & Горлачова, О. В. (2010). Технологія вирощування проса в східній частині Лісостепу України. *Посібник українського хлібороба*, 216–218.
13. Дерев'янський, В. П., Сучек, М. М., Каленська, С. М., & Токмакова, Л. М. (2015). *Ефективність біологічних препаратів при вирощуванні круп'яних культур в умовах Правобережного Лісостепу України (науково-практичні рекомендації)*. Самчики.
14. Мельник, С. І., Гаврилюк, М. М., & Жилкін, В. А. (2007). *Рекомендації з ефективного застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур*. Київ.
15. Kakad, C. B., Chavan, A. P., Varnekar, K. D., & Bodake, P. S. (2021). Effect of nutrient management on grain, straw yield and economics in transplanted proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Indian Journal of Agronomy*, 66(2), 246–250. doi: 10.59797/ija.v66i2.2847
16. Palchetti, E., Moretta, M., Calamai, A., Mancini, M., Dell'Acqua, M., Brilli, L., ... Masoni, A. (2023). Effects of nitrogen fertilization and plant density on proso millet (*Panicum miliaceum* L.) growth and yield under Mediterranean pedoclimatic conditions. *Agriculture*, 13(9), 1657. doi: 10.3390/agriculture13091657
17. Teklu, D., Gashu, D., Joy, E. J. M., Lark, R. M., Bailey, E. H., Wilson, L., ... Broadley, M. R. (2023). Genotypic response of finger millet to zinc and iron agronomic biofortification, location and slope position towards yield. *Agronomy*, 13(6), 1452. doi: 10.3390/agronomy13061452
18. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. (2006). Київ: Держспоживстандарт України.
19. Єщенко, В. О., Копитко, П. Г., Опришко, В. П., & Костогриз, П. В. (2005). *Основи наукових досліджень в агрономії*. Київ: Дія.

## YIELD STRUCTURE COMPONENTS AND GRAIN PRODUCTIVITY OF PROSO MILLET DEPENDING ON CULTIVATION TECHNOLOGY IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE

**Hordiienko M.**

Postgraduate Student  
National Scientific Center

“Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”  
(Chabany village, Fastiv district, Kyiv region, Ukraine)

e-mail: mykolagordienko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-7319-1887>

**Hryshchenko R.**

Candidate of Agricultural Sciences  
National Scientific Center

“Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”  
(Chabany village, Fastiv district, Kyiv region, Ukraine)

e-mail: grischenko.raisa@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6503-6034>

*The aim of the study is to determine the effects of primary fertilization regimes, foliar application of an organo-mineral fertilizer during the crop's critical growth periods, presowing seed treatment with a biological product, and their combinations within the cultivation technology on the formation of yield structure components and the grain yield of proso millet. **Methods:** field studies (to evaluate interactions between the crop and biotic/abiotic factors), morphophysiological assessments (to monitor the development of productivity elements across organogenesis stages), statistical analyses (to process experimental data), and comparative-computational methods. The article presents findings on the influence of the studied agronomic practices and their combinations within the cultivation system on the formation of yield structure components and the resulting grain productivity of proso millet. The dependence of grain yield on yield structure elements was analyzed. The correlation between yield level and panicle length or number of branches was moderate ( $r=0.485$ ,  $0.649$ , and  $0.508$ ), whereas correlations with panicle weight, grain number per panicle, and grain weight per panicle were strong and positive ( $r=0.798$ ,  $0.876$ , and  $0.835$ ). Under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe, achieving maximum expression of varietal potential requires a cultivation technology that includes the application of  $N_{45}P_{60}K_{60}$  as the primary fertilization and  $N_{15}$  as top-dressing at the tillering stage, sowing seeds treated with the biological product Azogran, and foliar application of the organo-mineral fertilizer Braman Multicomplex at tillering. This technological model resulted in a grain yield of  $5.08$  t/ha, compared to  $3.37$  t/ha under the absolute control. The identified patterns of millet yield formation depending on the fertilization system and presowing seed treatment represent an important factor for further improvement of the crop's cultivation technology.*

**Keywords:** panicle length, panicle weight, number of branches, grain weight per panicle, thousand-grain weight, fertilization, presowing seed treatment, foliar feeding.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**ГОРДІЄНКО Микола Віталійович** — аспірант відділу технологій зернобобових, круп'яних і олійних культур, Національний науковий центр “Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України” (вул. Машинобудівників, 2-Б, с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна, 08162; e-mail: Mykolagordienko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-7319-1887>).

**ГРИЩЕНКО Раїса Євгенівна** — кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник відділу технологій зернобобових, круп'яних і олійних культур, Національний науковий центр “Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України” (вул. Машинобудівників, 2-Б, с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна, 08162; e-mail: grischenko.raisa@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6503-6034>).

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОДОБРИВ У ПОЗАКОРЕНЕВОМУ ПІДЖИВЛЕННІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО

Г. В. Панцирева

доктор сільськогосподарських наук, доцент

Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: apantsyрева@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-5211>

Дослідження присвячене вдосконаленню технології вирощування кукурудзи на зерно з метою максимального використання генетичного потенціалу гібрида ДКС 3972 і підвищення продуктивності в умовах Лісостепу Правобережного. Основну увагу приділяли оптимізації мінерального живлення рослин, раціоналізації технологічних заходів і зменшенню витрат матеріальних ресурсів у виробництві. Експериментальні дослідження виконували у 2022–2024 роках у межах прикладного дослідження “Розробка науково-технологічного забезпечення підвищення родючості ґрунтів та раціонального використання потенціалу біоресурсів”. Вивчали вплив комбінованого застосування передпосівного внесення карбаміду (150 кг/га), гранульованого добрива Eurofertil 51 TOP-Phos, що містить швидкодіючі поживні речовини кальцію та фосфору, а також дворазового позакореневого підживлення мікродобривом із сульфатом магнію (3 кг/га) та цинком (1,5 л/га) у критичні фази розвитку кукурудзи, зокрема у фазу 8 листків. Результати досліджень показали, що комбіноване застосування зазначених агротехнологічних заходів забезпечує максимальну реалізацію генетичного потенціалу гібрида, сприяє формуванню продуктивних органів, розвитку кореневої системи, підвищує стійкість рослин до стресових факторів і стабільність урожайності. Середнє підвищення врожайності зерна становило 43,61%, що підтверджує ефективність комплексного підходу. Досліджено фізіологічне значення мікроелементів, зокрема кальцію та фосфору, які стимулюють фотосинтез, енергетичне живлення рослин, формування клітинних структур і підвищують їхні адаптивні властивості. Установлено, що мінеральне живлення позитивно впливає на властивості ґрунту, зокрема реакцію середовища (рН), процеси гумусоутворення та активність ґрунтової мікробіоти. Отримані результати підтверджують практичну доцільність використання комплексного мінерального живлення для підвищення ефективності виробництва кукурудзи на зерно, зменшення виробничих витрат, зниження імпортозалежності та переходу на біоорганічні системи вирощування, що дає змогу отримати високоякісну й екологічно безпечну продукцію.

**Ключові слова:** *Zea mays L.*, гібрид, зерно, мінеральне живлення, мікроелементи, урожайність, критичні періоди.

### ВСТУП

Сучасні тенденції в розробці технологій вирощування зернових культур, зокрема й кукурудзи на зерно, ґрунтуються на низці базових напрямів, які враховують не лише особливості інноваційних змін і технологічного оновлення засобів механізації, а й головні орієнтири розвитку сучасного землеробства [1]. Такі технології передбачають оптимізацію використання природних ресурсів, зниження антропогенного навантаження на довкілля, підвищення продуктивності та якості зернової продукції за одночасного забезпечення високих рівнів екологічної безпеки [2]. Зокрема, акцент роблять на застосуванні маловитратних і ресурсозберігаючих рішень, використанні біологічних методів відновлення родючості ґрунту, підборі адаптованих гібридів, стійких до кліматичних змін та урбанізаційних факторів [3].

Важливим є і те, що сучасна концепція розвитку агрономічної науки базується на принципах раціонального сільськогосподарського виробництва, зокрема в рослинництві, і стосується передпосівної обробки насіння та обробки вегетуючих рослин, які використовуються в технології вирощування кукурудзи на зерно з метою підвищення рівня врожайності, зменшення економічних витрат, поліпшення поживної цінності й збалансованості врожаю та збереження родючості ґрунту [4; 5]. Водночас особливу увагу приділяють питанням адаптивності технологій до різних природно-кліматичних зон, що забезпечує їхню універсальність і можливість широкого впровадження в аграрну практику.

Слід також зауважити, що значущість біологізації землеробства для ґрунтозбереження сьогодні розглядають як одне з ключових

завдань сучасної агроекології. Використання біологічних методів у технологіях вирощування кукурудзи на зерно дає змогу забезпечити випередження в управлінні станом ґрунту, що сприяє відновленню його природної структури, збереженню біорізноманіття, поліпшенню водного й повітряного режимів. Це є особливо актуальним з огляду на інтеграцію української системи ведення сільського господарства у європейський простір, що відповідає стратегічним орієнтирам і міжнародним екологічним стандартам [6; 7].

Отже, біологізація та впровадження технологій у вирощуванні кукурудзи на зерно дають змогу забезпечити реалізацію Цілей сталого розвитку, спрямованих на збалансоване природокористування, раціональне використання ресурсів, підтримку екологічної рівноваги й підвищення якості життя населення в умовах глобальної продовольчої кризи.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Кукурудзу переважно вирощують як зернову культуру, і технологічні підходи до її виробництва на зерно наразі розроблені на задовільному рівні. Водночас проблема ефективного виробництва зерна кукурудзи залишається актуальною. Через відсутність оптимізованих технологій вирощування рівень урожайності зернової продукції в Україні є низьким, а реалізація потенціалу районованих сортів і гібридів — недостатньою. Значення кукурудзи як зернової культури в умовах масової деградації сільськогосподарських ґрунтів є особливо вагомим, оскільки її вирощування сприяє зупиненню негативних процесів у ґрунтах. Недостатня кількість виробленого зерна обмежує посівні площі кукурудзи й призводить до збільшення витрат на відновлення деградованих земель, що зумовлює необхідність розробки високоефективних агротехнологій вирощування культури на зерно [8–10].

Аналіз наукових праць і значного масиву наукової літератури [11; 12] доводить, що тематика вдосконалення технологічних прийомів вирощування кукурудзи на зерно залишається актуальним предметом наукового вивчення не лише в Україні, а й у світовому масштабі.

Критичними періодами розвитку кукурудзи вважають фази вегетації, під час яких рослина найбільш чутлива до дефіциту поживних речовин, води й несприятливих абіотичних чинників. Ефективне забезпечення рослин живленням у ці періоди безпосередньо впливає на формування врожаю та реалізацію генетичного потенціалу гібридів [12]. Фаза проростання та формування перших листків (3–5 листків) ха-

рактеризується активним розвитком кореневої системи, що забезпечує рослині здатність до поглинання води й поживних речовин із ґрунту.

Учені відзначають, що дефіцит елементів живлення на цьому етапі може негативно вплинути на ріст пагонів і майбутню продуктивність рослин [10]. Фаза 6–8 листків вважається критичною для закладання продуктивних органів. Саме в цей період відбувається інтенсивне формування генеративних структур і закладка квіток та майбутніх качанів. Достатнє забезпечення фосфором, магнієм і мікроелементами підвищує синтез хлорофілу й енергообмін у рослині, стимулюючи перенесення поживних речовин до майбутніх генеративних органів [11]. Фаза цвітіння та наливу зерна (R1–R3) є наступним критичним періодом, коли формується кінцева структура врожаю, зокрема кількість зерен у качані та їхня маса. Забезпечення рослин калієм, фосфором і мікроелементами в цей період сприяє поліпшенню заплідненості квіток, інтенсивності наливу зерна та його якісних показників [9; 10].

Дослідження показують, що позакореневі підживлення у критичні періоди вегетації ефективно доповнюють основне ґрунтове живлення, прискорюють розвиток кореневої системи й підвищують продуктивність рослин [12]. Вибір оптимальних фаз внесення добрив і мікроелементів визначає успішність реалізації потенціалу сучасних гібридів кукурудзи. Отже, виділення та правильне використання критичних періодів розвитку кукурудзи є основою сучасних технологій живлення, що дає змогу максимально ефективно використовувати добрива, підвищувати врожайність і поліпшувати якість зерна, одночасно зменшуючи втрати ресурсів і негативний вплив на ґрунтове середовище.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження виконували впродовж 2022–2024 років в умовах Вінницького національного аграрного університету. Площа облікової ділянки становила 30 м<sup>2</sup>. Програма досліджень передбачала проведення біометричних спостережень, облік урожайності, а також визначення якісних показників продукції за загальноприйнятими методиками в агрономії [13; 14]. До вивчення взято гібрид кукурудзи ДКС 3972. Наукову працю виконано в межах завдань прикладного дослідження “Розробка науково-технологічного забезпечення підвищення родючості ґрунтів та раціонального використання потенціалу біоресурсів”.

Гібрид кукурудзи ДКС 3972 належить до середньостиглих гібридів із ФАО 300 (табл. 1). Тип зерна — зубоподібний, що забезпечує хоро-

Таблиця 1

**Господарсько-цінні характеристики гібрида кукурудзи ДКС 3972**

| № з/п | Характеристика   | Значення                |
|-------|------------------|-------------------------|
| 1     | Зона вирощування | Лісостеп, Степ, Полісся |
| 2     | ФАО              | 300                     |
| 3     | Тип зерна        | Зубоподібний            |
| 4     | Група стиглості  | Середньостигла          |
| 5     | Використання     | Зерно / силос / біогаз  |

Джерело: сформовано автором на основі [4].

ші технологічні властивості за використання як на зерно, так і на силос. Основними перевагами гібрида є холодостійкість, високий потенціал урожайності й міцне стебло, що сприяє стійкості до вилягання.

Гібрид рекомендований для вирощування у всіх зонах України та добре реагує на середній і високий рівень мінерального живлення. Він придатний для всіх типів ґрунтів, допускає традиційний і мінімальний обробіток ґрунту, а температура ґрунту під час посіву повинна бути не нижче 8°C.

Характеристика гібрида за стійкістю, стабільністю та пластичністю до факторів навколишнього середовища наведена на рис. 2.

ДКС 3972 витримує вирощування в монокультурі й тривалий перестій, що робить його універсальним для різних сівозмін. Рекомендована густота рослин на час збирання залежить від умов зволоження: у посушливих умовах — 55 000–60 000 шт./га, за нестійкого зволоження — 60 000–70 000 шт./га, у достатньо зволених умовах — 70 000–80 000 шт./га. Гібрид ефективний як для зернового, так і для силосного використання.

**Рис. 1.** Гібрид кукурудзи ДКС 3972

Джерело: фото Г. В. Панциревої, виконане в умовах НДГ "Агрономічне" (с. Агрономічне, Вінницький р-н, Вінницька обл.).

Мета дослідження полягає у визначенні ефективності комбінованого застосування окремого гранульованого добрива й позакореневого підживлення мікродобривами, спрямованих на оптимізацію умов мінерального живлення рослин і підвищення продуктивності гібридів кукурудзи в умовах Лісостепу Правобережного. Завдання полягає в пошуку оптимальних біотехнологічних рішень, що забезпечують максимальну реалізацію біологічного потенціалу

**Рис. 2.** Агроекологічна оцінка гібрида кукурудзи ДКС 3972 за 10-бальною шкалою

Джерело: розроблено автором на основі [4].

культури й отримання високоякісної, екологічно безпечної продукції.

**РЕЗУЛЬТАТИ  
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

У нашому дослідженні основним завданням є оптимізація мінерального живлення рослин кукурудзи шляхом застосування стартерного добрива перед посівом, що містить комбінацію швидкодіючих поживних речовин кальцію та фосфору (Eurofertil 51 TOP-Phos). Кальцій відіграє ключову роль у формуванні міцної клітинної стінки, підвищенні стійкості рослин до вилягання та патогенів, а також у регуляції водного обміну й активності ферментних систем. Фосфор забезпечує інтенсивне енергетичне живлення рослини, активує процеси фотосинтезу, сприяє розвитку кореневої системи та підвищенню інтенсивності росту на ранніх стадіях органогенезу. Поєднання цих елементів у стартовому підживленні створює оптимальні умови для швидкого проростання насіння, активного формування кореневої системи та закладки продуктивних органів, що в подальшому сприяє підвищенню врожайності й ефективному використанню генетичного потенціалу гібридів кукурудзи.

Розв'язання цього завдання забезпечується шляхом посилення перенесення елементів живлення до генеративних органів рослин, що сприяє підвищенню врожайності зерна. Основною метою є збільшення зернової продуктивності посівів кукурудзи через застосування різноманітних комплексних комбінацій гранульованих добрив зі збалансованим макро- й мікроелементним складом різного біологічного

походження. Такий підхід, враховуючи особливості росту й розвитку гібридів, має технологічно комплексний характер і відкриває перспективу переходу на біоорганічну систему вирощування кукурудзи на зерно. Крім того, з огляду на економічні виклики й необхідність оптимізації агрохімічного забезпечення, його впровадження дає змогу суттєво зменшити імпортозалежність виробництва зернових культур, скоротити виробничі витрати та одночасно позитивно впливати на екологічний стан ґрунтів.

Результати досліджень, проведених у 2022–2024 роках, показали, що врожайність зерна кукурудзи значною мірою залежить від комбінованого застосування добрив. Зокрема, високу продуктивність забезпечують внесення перед посівом під культивуацію карбаміду в нормі 150 кг/га у поєднанні з окремим гранульованим добривом Eurofertil 51 TOP-Phos, а також дворазове позакореневе підживлення гібридів мікродобривом із необхідним набором мікроелементів у дозах: сульфат магнію — 3 кг/га, цинк — 1,5 л/га, які вносили в критичний період вегетації, зокрема у фазу 8 листків. Максимальна реалізація генетичного потенціалу гібрида ДКС 3972 досягається за поєднаного використання зазначених технологічних заходів: передпосівного внесення карбаміду (150 кг/га), дворазового позакореневого підживлення мікродобривом з оптимальним набором мікроелементів (сульфат магнію — 3 кг/га, цинк — 1,5 л/га) у критичні фази розвитку, а також застосування окремого гранульованого добрива, що містить швидкодіючі поживні речовини кальцію та фосфору (Eurofertil 51 TOP-Phos) (табл. 2).

Таблиця 2

**Урожайність зерна кукурудзи гібрида ДКС 3972 залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах НДГ “Агрономічне”, т/га (середнє за 2022–2024 рр.)**

| Передпосівна обробка                                                                                                                                                                                                                                 | Позакореневі підживлення | Урожайність, т/га | ±Mm  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|------|
| Без обробки                                                                                                                                                                                                                                          | Контроль (без обробки)   | 4,55              | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                      | MgSO <sub>4</sub> + Zn   | 4,74              | 0,19 |
| Карбамід                                                                                                                                                                                                                                             | Без обробки              | 5,07              | 0,52 |
|                                                                                                                                                                                                                                                      | MgSO <sub>4</sub> + Zn   | 5,56              | 1,01 |
| Eurofertil 51 TOP-Phos                                                                                                                                                                                                                               | Без обробки              | 5,78              | 1,23 |
|                                                                                                                                                                                                                                                      | MgSO <sub>4</sub> + Zn   | 6,07              | 6,07 |
| Карбамід + Eurofertil 51 TOP-Phos                                                                                                                                                                                                                    | Без обробки              | 7,43              | 1,52 |
|                                                                                                                                                                                                                                                      | MgSO <sub>4</sub> + Zn   | 8,07              | 3,52 |
| HIP <sub>0,5</sub> т/га: А — 0,8; В — 0,9; АВ — 1,1;<br>2022 р. HIP <sub>0,5</sub> т/га: А — 0,5; В — 0,8; АВ — 1,0;<br>2023 р. HIP <sub>0,5</sub> т/га: А — 0,7; В — 0,7; АВ — 0,9;<br>2024 р. HIP <sub>0,5</sub> т/га: А — 0,7; В — 0,8; АВ — 1,1. |                          |                   |      |

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень.

Проведеними дослідженнями встановлено, що комбіноване застосування перед посівом під культивування карбаміду в дозі 150 кг/га, позакореневе підживлення гібридів кукурудзи мікродобрином із необхідним набором мікроелементів (сульфат магнію — 3 кг/га та цинк — 1,5 л/га) у критичний період вегетації (фаза 8 листків), а також внесення окремого гранульованого добрива перед посівом позитивно впливають на формування врожайності гібрида ДКС 3972. Особливе значення має використання гранульованого добрива, оскільки його вплив на продуктивність рослин має комплексний характер та охоплює всі органи, включно з генеративними. За результатами дослідів встановлено, що комбіноване застосування зазначених агротехнологічних заходів забезпечило середнє підвищення врожайності зерна кукурудзи на 43,61%. Виявлено, що максимальна реалізація генетичного потенціалу кукурудзи на зерно досягається за поєднаного використання карбаміду перед посівом, гранульованого добрива й позакореневого підживлення мікродобрином з оптимальним набором мікроелементів (сульфат магнію — 3 кг/га та цинк — 1,5 л/га) у критичні періоди розвитку, зокрема у фазу 8 листків. Додатково встановлено, що внесення гранульованого добрива, що містить швидкодіючі поживні речовини кальцію та фосфору, у поєднанні з карбамідом і мікродобрином ще ефективніше сприяє реалізації генетичного потенціалу гібрида ДКС 3972, забезпечуючи інтенсивний ріст рослин, розвиток кореневої системи й формування продуктивних органів, що зумовлює стабільне підвищення врожайності зерна.

### ВИСНОВКИ

Проведені дослідження у 2022–2024 роках на гібриді кукурудзи ДКС 3972 в умовах Вінницького національного аграрного університету

підтвердили високу ефективність комплексного підходу до мінерального живлення рослин. Установлено, що поєднання передпосівного внесення карбаміду (150 кг/га), окремого гранульованого добрива Eurofertil 51 TOP-Phos, що містить швидкодіючі поживні речовини кальцію та фосфору, і дворазового позакореневого підживлення мікродобрином із сульфатом магнію (3 кг/га) та цинком (1,5 л/га) у критичний період розвитку рослин (фаза 8 листків) забезпечує максимальну реалізацію генетичного потенціалу гібрида. Дослідження показали, що кальцій сприяє зміцненню клітинних стінок, підвищує стійкість рослин до вилягання та патогенів, регулює водний обмін і ферментативну активність, тоді як фосфор стимулює фотосинтез, енергетичне живлення та розвиток кореневої системи на ранніх стадіях. Комбіноване використання цих елементів у стартовому підживленні активізує проростання насіння, формування кореневої системи й генеративних органів, що безпосередньо впливає на врожайність. За результатами дослідів встановлено, що застосування зазначених агротехнологічних заходів підвищує середню врожайність зерна кукурудзи на 43,61%. Особливу ефективність показало використання гранульованого добрива в комбінації з карбамідом і мікродобрином, оскільки воно впливає на весь габітус рослини й підвищує продуктивність генеративних органів. Отримані результати свідчать, що комбіноване підживлення забезпечує інтенсивний ріст рослин, розвиток кореневої системи й підвищення стабільності врожайності. Запропонований підхід до мінерального живлення гібрида ДКС 3972 дає змогу знизити виробничі витрати, зменшити імпортозалежність і позитивно впливати на екологічний стан ґрунтів, створюючи умови для переходу на біоорганічні системи вирощування кукурудзи на зерно та отримання високоякісної, екологічно безпечної продукції.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Mazur, V., Pansyryeva, H., Mazur, K., Myalkovsky, R., & Alekseev, O. (2020). Agroecological prospects of using corn hybrids for biogas production. *Agronomy Research*, 18(1), 177–182. doi: 10.15159/ar.20.016
2. Didur, I., Lutkovska, S., & Pansyryeva, H. (2025). European prospects for the development of crop production technologies in Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*, 11(3), 353–360. doi: 10.30525/2256-0742/2025-11-3-353-360
3. Панцирева, Г. В. (2025). Розробка біоорганічної технології вирощування сільськогосподарських культур за використання біодобрив, позакореневих підживлень та фізіологічно-активних речовин. *Аграрні інновації*, 29, 101–106. doi: 10.32848/agrar.innov.2025.29.17
4. Куркуль — онлайн-асистент фермера. (2024). *Динаміка і перспективи розвитку насінництва кукурудзи*. Взято з <https://kurkul.com/blog/284-dinamika-iperspektivi-rozvitoku-nasinnitstva-kukurudzi>
5. М'якушко, В. К. (Ред.), Мельничук, Д. О., & Вольвач, Ф. В. (1992). *Сільськогосподарська екологія*. Київ: Урожай.
6. Лихочвор, В. В. (2002). *Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур*. Львів: НВФ “Українські технології”.
7. Віршовка, В., Опанасенко, О., & Довгорук, Ю. (2023). Перспективні енергетичні культури на осушуваних торфовищах Лісостепу та їх водоспоживання в умовах зміни клімату. *Вісник аграрної науки*, 101(1), 68–76. doi: 10.31073/agrovisnyk202301-08

8. Паламарчук, В. Д., Гончарук, І. В., Кричковський, В. Ю., Дідур, І. М., & Логоша, Р. В. (2025). *Спосіб застосування дигестату в технологіях вирощування кукурудзи* (Патент України № 158328).
9. Bogomaz, S., Zayka, K., Didur, I., Mazur, O., Mazur, O., & Tsyhanskyi, V. (2025). Effects of plant density and fertilisation on yield structure and yield elements of maize hybrids for biofuel production. *Journal of Ecological Engineering*, 26(6), 352–364. doi: 10.12911/22998993/202943
10. Мазур, В. А., & Шевченко, Н. В. (2017). Вплив технологічних прийомів вирощування на формування якісних показників зерна кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*, 6(1), 7–13.
11. Паламарчук, В. Д., Дідур, І. М., Колісник, О. М., & Алексєєв, О. О. (2020). *Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу Правобережного*. Вінниця: ТОВ “Друк”.
12. Петриченко, В. Ф., & Лихочвор, В. В. (2020). *Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур*. Львів: НВФ “Українські технології”.
13. Мойсейченко, В. Ф., & Єщенко, В. О. (1994). *Основи наукових досліджень в агрономії*. Київ: Вища школа.
14. Єщенко, В. О. (Ред.), Копитко, П. Г., Опришко, В. П., & Костогриз, П. В. (2005). *Основи наукових досліджень в агрономії*. Київ: Дія.

## EFFICIENCY OF USING MICRONUTRIENT FERTILIZERS IN FOLIAR FEEDING OF GRAIN MAIZE UNDER THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE

Pantsyрева Н.

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor  
Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)

e-mail: apantsyreva@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-5211>

The study is devoted to improving the technology of growing maize for grain in order to maximize the genetic potential of the hybrid DKS 3972 and increase productivity under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The main attention was paid to optimizing the mineral nutrition of plants, rationalizing technological measures, and reducing the costs of material resources in production. Experimental work was carried out in 2022–2024 as part of the applied research “Development of scientific and technological support for increasing soil fertility and rational use of the potential of bioresources”. The effect of the combined use of pre-sowing application of urea (150 kg/ha), granular fertilizer Eurofertil 51 TOP-Phos, containing fast-acting nutrients of calcium and phosphorus, as well as twofold foliar feeding with a microfertilizer containing magnesium sulfate (3 kg/ha) and zinc (1.5 L/ha) in critical phases of maize development, in particular the 8-leaf phase, was studied. The results of the research showed that the combined use of the above agrotechnological measures ensures the maximum realization of the genetic potential of the hybrid, promotes the formation of productive organs, the development of the root system, increases the resistance of plants to stress factors, and improves the stability of yields. The average increase in grain yield was 43.61%, which confirms the effectiveness of the integrated approach. The physiological value of nutrients, in particular calcium and phosphorus, which stimulate photosynthesis, energy supply of plants, the formation of cellular structures, and increase their adaptive properties, was studied. It was established that mineral nutrition has a positive effect on soil properties, in particular soil reaction (pH), humus formation processes, and the activity of soil microbiota. The results obtained confirm the practical feasibility of using complex mineral nutrition to increase the efficiency of maize production for grain, reduce production costs, reduce import dependence, and switch to bioorganic cultivation systems, which makes it possible to obtain high-quality and environmentally safe products.

**Keywords:** *Zea mays L.*, hybrid, grain, mineral nutrition, microelements, yield, critical periods.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**ПАНЦИРЕВА Ганна Віталіївна** — доктор сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, провідний науковий співробітник, ННІ агротехнологій та природокористування, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: apantsyreva@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-5211>).

## АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОБНИХ БІОПРЕПАРАТІВ У ПОСІВАХ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В КОНТЕКСТІ ЗБЕРЕЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ҐРУНТІВ

**О. П. Ткачук**

доктор сільськогосподарських наук, професор

Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: tkachukop@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0647-6662>

**Г. В. Гуцол**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: gucolg@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6327-6555>

**Н. С. Ковка**

асистент

Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: natalikovka41@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4556-2678>

Зважаючи на важливість екологізації технологій вирощування озимої пшениці, досягнення подальшого зростання продуктивності її посівів стає надзвичайно складним завданням. У зв'язку із цим головна мета роботи полягала у визначенні агроекологічної ефективності використання біопрепаратів у посівах озимої пшениці для підвищення її врожайності та покращення стабільності ґрунтового середовища. Досліджували ефективність біопрепаратів серії Біонорма, спеціалізованих на стимулюванні росту: Біонорма Азот (5 л/га), Біонорма Фосфор (5 л/га) і Біонорма Антистрес (5 л/га), порівняно з традиційним мінеральним удобренням ( $N_{150}P_{50}K_{50}$ ,  $N_{150}$  та  $P_{50}$ ). Основну увагу приділяли їхньому впливу на врожайність озимої пшениці сорту РЖТ Реформ і стан ґрунту в агроекологічному контексті протягом 2022–2024 років. Препарати Біонорма вносили в ґрунт методом обприскування під час передпосівної культивування. Норми витрати робочої рідини становили 200 л/га. Застосування біопрепаратів серії Біонорма може стати реальною альтернативою мінеральним добривам при вирощуванні озимої пшениці. Вони не тільки сприяють підвищенню врожайності зерна, а й позитивно впливають на агро-екологічний стан ґрунту. Зокрема, комбінація препаратів Біонорма Азот, Біонорма Фосфор і Біонорма Антистрес дає змогу збільшити врожайність зерна на 13,2% порівняно з варіантами без застосування добрив. Крім того, використання цих біопрепаратів сприяє зростанню вмісту лужногідролізованого азоту в ґрунті на 5 мг/кг порівняно з контрольним варіантом, а вміст рухомого фосфору збільшується на 8 мг/кг (порівняно з контролем) і на 2 мг/кг (порівняно з варіантом із мінеральним удобренням  $P_{50}$ ). Спостерігається зменшення концентрації токсичних елементів у ґрунті: рухомих форм свинцю — на 0,26 мг/кг порівняно з контролем і на 0,39 мг/кг порівняно з варіантом із мінеральним удобренням  $N_{150}$ ; кадмію — на 0,05 мг/кг і 0,08 мг/кг; міді — на 0,13 мг/кг і 0,22 мг/кг; цинку — на 0,11 мг/кг і 0,13 мг/кг відповідно. Дослідження також підтверджують позитивний вплив комплексу біопрепаратів на оптимізацію кислотно-лужного балансу (рН) ґрунтового розчину. Рівень рН підвищується на 0,08 од. порівняно з контролем і на 0,13 од. порівняно з варіантом із застосуванням  $N_{150}$ . Водночас відзначено зниження гідролітичної кислотності ґрунту на 0,05 мг-екв/100 г порівняно з контролем і на 0,27 мг-екв/100 г порівняно з варіантом із внесенням азотного мінерального добрива  $N_{150}$ .

**Ключові слова:** зернові культури, біологічні препарати, урожайність, технології вирощування, агрозаходи, педосфера, збереження.

### ВСТУП

Подальше збільшення продуктивності посівів озимої пшениці, а також покращення якості й екологічної безпечності продукції можливе завдяки виявленню відповідних

резервів. Урожайність зерна пшениці озимої на рівні 8,0 т/га уже є реальністю в сучасних умовах ведення рослинництва в Україні. Вона стала можливою завдяки використанню високих норм мінеральних азотних добрив, які

вже сягають 150–200 кг/га у діючій речовині. Такі високі норми мінеральних добрив провокують не лише ризик накопичення нітратів у продукції та загальне підвищення уразливості агроєкосистеми до шкідників, хвороб, бур'янів, несприятливих абіотичних чинників навколишнього середовища (посухи, несприятливих умов перезимівлі), а й порушують агроєкологічну стійкість ґрунту [1; 2].

Зважаючи на необхідність екологізації технологій вирощування пшениці озимої, забезпечити подальше зростання продуктивності її посівів стає вкрай непросто. Тому метою роботи було встановити агроєкологічну ефективність застосування біопрепаратів у посівах пшениці озимої для підвищення її продуктивності й стабілізації ґрунту.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Через агресивний вплив високих норм мінеральних азотних добрив на ґрунт і функціонування педосфери сільськогосподарські ґрунти значною мірою зазнають деградаційних процесів: дегуміфікації внаслідок мінералізації гумусу мінеральними добривами, підкислення фізіологічно кислими азотними добривами, забруднення пестицидами внаслідок необхідності збільшення їх норм через надлишок мінерального азотного живлення й важкими металами через їх вміст у мінеральних добривах. Такі інтенсивні заходи, що ґрунтуються на застосуванні високих норм мінеральних добрив, призвели до прогресуючої мінералізації гумусу, яка спостерігається на площі понад 14 млн га ріллі в Україні, підкислення близько 6 млн га сільськогосподарських ґрунтів, надлишкового забруднення пестицидами понад 3,0 млн га і важкими металами 2,6 млн га сільськогосподарських угідь [3; 4] (рис. 1).

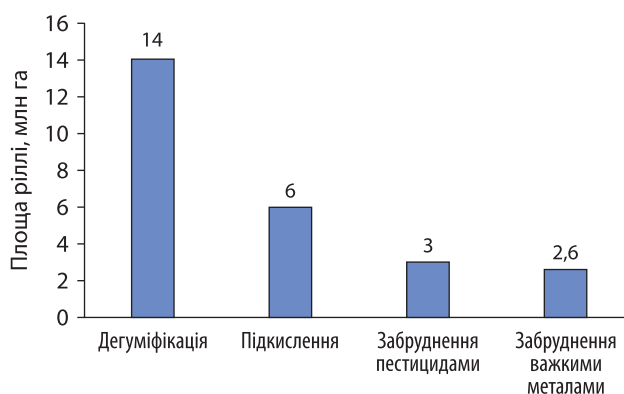


**Рис. 1.** Поширення процесів деградації ґрунтів в Україні, що зумовлені хімізацією землеробства

Джерело: сформовано авторами на основі [4].

Одним із ключових шляхів підвищення виробництва високоякісного зерна озимої пшениці є подальше вдосконалення технологій її вирощування. Особливу увагу слід приділити використанню новітніх форм біодобрив для підживлення, що можуть суттєво обмежити застосування традиційних мінеральних азотних добрив [5; 6].

Технологія вирощування озимих культур із використанням біологічних препаратів набуває особливої актуальності й популярності. Вона забезпечує оптимальну підготовку рослин до зимівлі, сприяє повному розкриттю потенціалу сорту та дає змогу досягти не лише підвищення врожайності, а й покращення якості продукції. У результаті це значно сприяє зростанню прибутковості [7].

Це можна досягти завдяки вдосконаленню загального метаболізму за допомогою відповідних технологічних заходів, що базуються на мікробіологічному підході. Він передбачає обробку озимих культур і ґрунту спеціальними мікробіологічними препаратами, що створюють мікробно-рослинне співтовариство. Колонізуючи рослини, мікроорганізми активують важливі механізми, які забезпечують їх необхідними поживними елементами, стимулюють ріст кореневої системи й листового апарату, підсилюють дію осінніх і зимових засобів захисту насіння, а в деяких випадках навіть компенсують певні недоліки та поліпшують агроєкологічний стан ґрунту [8; 9].

Корисні мікроорганізми в біопрепаратах здійснюють розкладання залишків кореневої системи, післяжнивних решток, гною та сидератів, сприяючи збільшенню вмісту гумусу, рухомого азоту, фосфору й калію в ґрунті. Вони стимулюють процеси росту завдяки утворенню ферментів, вітамінів, вільних амінокислот і регуляторів росту рослин, а також підвищують їхню стійкість до впливу патогенних мікроорганізмів [10].

У рослинництві особливо важливим є застосування ризосферних мікроорганізмів, які завдяки діазотрофам фіксують біологічний азот з атмосфери. Це сприяє усуненню нестачі азоту у живленні рослин, підвищує ефективність використання орних земель, покращує родючість ґрунтів і скорочує витрати на придбання синтетичних мінеральних добрив. Біологічне виробництво в рослинництві характеризується екологічною чистотою, забезпеченням високоякісної продукції в економічно обґрунтованих обсягах, посиленням екологічної стійкості агроландшафтів і збереженням родючості ґрунтів [11].

Для швидкого й ефективного усунення дефіциту поживних речовин у ґрунті створено інноваційні біопрепарати в гранульованій формі.

Основні переваги цих продуктів охоплюють не- обмежене використання в умовах інтенсивного землеробства; тривалий позитивний вплив на мікрофлору рослин і ґрунту; сучасний процес виробництва, що захищає біопрепарати від негативного впливу навколишнього середовища; універсальність виробничого процесу, яка дає змогу зменшити кількість технічних операцій та енергетичні витрати, а також усуває потребу в додатковому обладнанні для внесення. Препарати забезпечують можливість точного дозування та внесення безпосередньо під корінь або в зону активного росту [12].

До важливих чинників вирощування озимої пшениці в сучасних умовах належить застосування біодобрив, які відіграють значну роль як екологічна та економічна складова технологічних процесів. Однак їхня ефективність досі залишається недостатньо вивченою, оскільки основна увага в дослідженнях приділяється біопрепаратам із захисними властивостями. Це створює потребу в проведенні відповідних досліджень, що підкреслює актуальність зазначеної теми.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивчали застосування біопрепаратів ріст- стимулювальної дії серії Біонорма: Біонорма Азот, 5 л/га, Біонорма Фосфор, 5 л/га, і Біонорма Антистрес, 5 л/га, порівняно з мінеральним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$ ,  $N_{150}$  і  $P_{50}$  щодо їхнього впливу на продуктивність пшениці озимої сорту РЖТ Реформ й агроекологічний стан ґрунту протягом 2022–2024 рр. Біопрепарати серії Біонорма вносили в ґрунт під передпосівну культивуацію способом обприскування. Витрата робочої рідини становила 200 л/га.

Біонорма Азот є засобом, що містить вільноживучі й асоціативні азотфіксувальні бактерії, призначеним для покращення азотного живлення різних сільськогосподарських культур. Основними активними компонентами препарату є бактерії *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandii* (вільноживучі азотфіксатори), а також *Azospirillum brasilense* і *Azospirillum lipoferum* (асоціативні азотфіксатори). Концентрація активних мікроорганізмів у препараті становить  $1 \times 10^9$  КУО/мл.

Біонорма Фосфор — це засіб, який містить ґрунтові спорові бактерії та мікроміцети з високою здатністю до мобілізації фосфатів. Призначений для оптимізації фосфорного живлення культур. Активний компонент представлений бактеріями *Bacillus megaterium*, *Bacillus amyloliquefaciens* і мікроміцетом *Trichoderma harzianum*. Концентрація діючої речовини становить  $1 \times 10^9$  КУО/мл препарату.

Біонорма Антистрес — біологічний препарат, призначений для захисту культурних рослин від негативного впливу несприятливих екологічних факторів. Основу препарату становлять живі клітини мікроорганізмів *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Paenibacillus polymyxa*. Концентрація діючої речовини —  $1 \times 10^9$  КУО/мл.

Мінеральні добрива у вигляді аміачної селітри, суперфосфату подвійного й калію хлористого вносили дробно: фосфорно-калійні добрива — під передпосівну культивуацію, азотні — у весняні підживлення.

Площа облікової ділянки — 20 м<sup>2</sup>, повторність досліду — чотириразова. Було здійснено такі обліки: облік урожаю зерна проводили прямим комбайнуванням і подальшим зважуванням маси; агроекологічні дослідження стану ґрунту проводили у Південно-західній філії Інституту охорони ґрунтів України. Визначали вміст гумусу, лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, уміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді й цинку, реакцію ґрунтового розчину (рН) і гідролітичну кислотність [13].

Досліди проводили в Науково-дослідному господарстві “Агрономічне” Вінницького національного аграрного університету (НДГ “Агрономічне” ВНАУ) на сірих опідзолених середньосуглинкових ґрунтах.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Застосування біопрепаратів серії Біонорма мало прямий вплив на підвищення продуктивності пшениці озимої. Препарат Біонорма Фосфор підвищував урожайність зерна на 6,4%, Біонорма Антистрес — на 8,2%, Біонорма Азот — на 9,0%. Поєднання біопрепаратів дало змогу збільшити позитивний ефект: Біонорма Азот + Біонорма Фосфор забезпечило отримання приросту врожаю на 11,4%, а Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес — на 13,2% (табл. 1).

Зрозуміло, що мінеральне удобрення посівів пшениці озимої з високими нормами добрив дає змогу отримати вищий приріст урожайності. Зокрема, внесення  $N_{150}P_{50}K_{50}$  забезпечило приріст урожайності на 36,1% порівняно з контролем (варіантом без використання добрив) і на 22,9% порівняно з варіантом із комплексним застосуванням біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес. Водночас варіант із внесенням  $N_{150}$  за рівнем приросту врожайності пшениці озимої переважав варіант із застосуванням біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес на 12,4%, а варіант із внесенням  $P_{50}$  поступався за

Таблиця 1

**Урожайність зерна пшениці озимої залежно від удобрення в НДГ “Агрономічне” ВНАУ  
(середнє за 2022–2024 рр.), М ± m**

| Варіанти удобрення                                   | Урожайність<br>зерна, т/га | Приріст до контролю |      |
|------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|------|
|                                                      |                            | т/га                | %    |
| Без добрив (контроль)                                | 4,68 ± 0,05                | —                   | —    |
| Біонорма Азот                                        | 5,14 ± 0,05                | 0,46                | 9,0  |
| Біонорма Фосфор                                      | 5,00 ± 0,03                | 0,32                | 6,4  |
| Біонорма Антистрес                                   | 5,01 ± 0,03                | 0,33                | 8,2  |
| Біонорма Азот + Біонорма Фосфор                      | 5,28 ± 0,03                | 0,60                | 11,4 |
| Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес | 5,39 ± 0,03                | 0,71                | 13,2 |
| N <sub>150</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>     | 7,32 ± 0,03                | 2,64                | 36,1 |
| N <sub>150</sub>                                     | 6,29 ± 0,03                | 1,61                | 25,6 |
| P <sub>50</sub>                                      | 5,17 ± 0,03                | 0,49                | 9,5  |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

ефективністю варіанту із застосуванням біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес на 3,7%.

Найбільш ефективний варіант удобрення посівів пшениці озимої на основі застосування біопрепаратів серії Біонорма — Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес — забезпечував урожайність на рівні 5,39 т/га, що за органічного вирощування є достатньо високим рівнем.

Негативний ефект використання мінерального удобрення пшениці озимої позначався на агроекологічному стані ґрунту. Зокрема, внесення N<sub>150</sub> за трирічний цикл ротації у сівозміні зумовлювало зменшення вмісту гумусу на

0,02%, причому в інших варіантах удобрення вміст гумусу не змінився. Більш динамічними виявилися інші параметри ґрунту. Зокрема, уміст лужногідролізованого азоту в ґрунті був найменшим за внесення P<sub>50</sub>, що на 1 мг/кг менше, ніж на контролі. Водночас найбільший уміст лужногідролізованого азоту за використання біопрепаратів встановлено у варіанті із застосуванням біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес, що на 5 мг/кг більше, ніж на контролі, і на 2 мг/кг менше, ніж за внесення повного мінерального добрива N<sub>150</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub> (табл. 2).

Найвищий уміст рухомого фосфору в ґрунті спостерігався за внесення біопрепаратів

Таблиця 2

**Агроекологічні параметри ґрунту залежно від удобрення  
при вирощуванні пшениці озимої в НДГ “Агрономічне” ВНАУ (2024 р.)**

| Варіанти удобрення                                   | Уміст     |                                   |                         |                        |                        |                       |                     |                       | Реакція ґрунтового розчину (рН) | Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г |
|------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
|                                                      | ґумусу, % | лужногідролізованого азоту, мг/кг | фосфору рухомого, мг/кг | калію обмінного, мг/кг | важкі метали           |                       |                     |                       |                                 |                                        |
|                                                      |           |                                   |                         |                        | свинцю рухомого, мг/кг | кадію рухомого, мг/кг | міді рухомої, мг/кг | цинку рухомого, мг/кг |                                 |                                        |
| Без добрив (контроль)                                | 2,30      | 118                               | 622                     | 156                    | 1,06                   | 0,18                  | 0,42                | 1,13                  | 5,85                            | 1,90                                   |
| Біонорма Азот                                        | 2,30      | 120                               | 620                     | 153                    | 1,05                   | 0,17                  | 0,35                | 1,08                  | 5,87                            | 1,90                                   |
| Біонорма Фосфор                                      | 2,30      | 118                               | 628                     | 152                    | 0,87                   | 0,16                  | 0,32                | 1,05                  | 5,89                            | 1,85                                   |
| Біонорма Антистрес                                   | 2,30      | 118                               | 623                     | 155                    | 0,96                   | 0,17                  | 0,35                | 1,06                  | 5,88                            | 1,90                                   |
| Біонорма Азот + Біонорма Фосфор                      | 2,30      | 121                               | 628                     | 154                    | 0,85                   | 0,15                  | 0,31                | 1,04                  | 5,90                            | 1,87                                   |
| Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес | 2,30      | 123                               | 630                     | 152                    | 0,80                   | 0,13                  | 0,29                | 1,02                  | 5,93                            | 1,85                                   |
| N <sub>150</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>     | 2,30      | 125                               | 624                     | 159                    | 1,15                   | 0,21                  | 0,51                | 1,15                  | 5,83                            | 2,07                                   |
| N <sub>150</sub>                                     | 2,28      | 123                               | 620                     | 154                    | 1,19                   | 0,19                  | 0,48                | 1,14                  | 5,80                            | 2,12                                   |
| P <sub>50</sub>                                      | 2,30      | 117                               | 628                     | 156                    | 1,12                   | 0,19                  | 0,48                | 1,14                  | 5,85                            | 2,00                                   |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес і був на 8 мг/кг вищим, ніж на контролі, та на 2 мг/кг вищим, ніж за внесення мінерального фосфору  $P_{50}$ . Найвищий уміст обмінного калію спостерігався у варіанті з мінеральним комплексним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$  і був на 3 мг/кг вищим, ніж у контрольному варіанті, адже інші види добрив калію не містять.

Чітка перевага біопрепаратів серії Біонорма спостерігалася щодо зниження вмісту в ґрунті рухомих форм важких металів. Зокрема, рухомого свинцю в ґрунті найменше містилося за внесення біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес, що було на 0,26 мг/кг менше, ніж на контролі, і на 0,39 мг/кг менше, ніж за внесення мінерального азотного добрива  $N_{150}$ . Біопрепарати серії Біонорма переводять свинець із рухомої в нерухому форму, що суттєво знижує небезпеку його накопичення рослинами. Водночас внесення мінеральних добрив сприяє підвищенню концентрації важких металів в рухомих формах, адже вони містяться в мінеральних добривах.

Подібна залежність спостерігалася щодо вмісту в ґрунті рухомих форм кадмію, міді й цинку. Зокрема, внесення біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес дає змогу знизити вміст рухомих форм кадмію в ґрунті на 0,05 мг/кг порівняно з контролем, а порівняно з варіантом із мінеральним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$  — на 0,08 мг/кг. Концентрація рухомих форм міді за внесення біопрепаратів знизилася на 0,13 мг/кг порівняно з контролем і на 0,22 мг/кг порівняно з варіантом із комплексним мінеральним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$ . Внесення біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес дає змогу зменшити рухомість цинку в ґрунті на 0,11 мг/кг порівняно з контролем і на 0,13 мг/кг порівняно з варіантом із мінеральним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$ .

Спостерігався вплив застосування різних видів добрив на кислотність ґрунту. Зокрема, найвище значення реакції ґрунтового розчину (рН) — 5,93 — спостерігалася за внесення біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес. Воно було на 0,08 більше, ніж на контролі, і на 0,13 більше, ніж у варіанті з азотним мінеральним удобренням  $N_{150}$ , оскільки

азотні мінеральні добрива сприяють підкисленню ґрунтового розчину. Така ж залежність була встановлена щодо величини гідролітичної кислотності ґрунту. Найменше її значення спостерігалася за внесення біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес — 1,85 мг-екв/100 г. Це було на 0,05 мг-екв/100 г менше, ніж на контролі, і на 0,27 мг-екв/100 г менше, ніж у варіанті з азотним мінеральним удобренням  $N_{150}$ .

## ВИСНОВКИ

Використання біопрепаратів серії Біонорма може бути вагомою альтернативою мінеральним добривам при вирощуванні пшениці озимої, оскільки вони не лише підвищують урожайність зерна, а й покращують агроекологічний стан ґрунту. Поєднання біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес дає змогу збільшити врожайність зерна на 13,2% порівняно з варіантом без внесення добрив, а також підвищує вміст у ґрунті лужногідролізованого азоту на 5 мг/кг порівняно з контролем; рухомого фосфору — на 8 мг/кг порівняно з контролем і на 2 мг/кг порівняно з варіантом із внесенням мінерального фосфору  $P_{50}$ ; знижує вміст рухомих форм свинцю в ґрунті на 0,26 мг/кг порівняно з контролем і на 0,39 мг/кг порівняно з варіантом із внесенням мінерального азотного добрива  $N_{150}$ ; кадмію — на 0,05 мг/кг порівняно з контролем і на 0,08 мг/кг порівняно з варіантом із мінеральним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$ ; міді — на 0,13 мг/кг порівняно з контролем і на 0,22 мг/кг порівняно з варіантом із комплексним мінеральним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$ ; цинку — на 0,11 мг/кг порівняно з контролем і на 0,13 мг/кг порівняно з варіантом із мінеральним удобренням  $N_{150}P_{50}K_{50}$ .

Установлено позитивний вплив комплексу біопрепаратів Біонорма Азот + Біонорма Фосфор + Біонорма Антистрес на оптимізацію реакції ґрунтового розчину (рН): зростання на 0,08 порівняно з контролем і на 0,13 порівняно з варіантом з азотним мінеральним удобренням  $N_{150}$ , а також зниження гідролітичної кислотності на 0,05 мг-екв/100 г порівняно з контролем і на 0,27 мг-екв/100 г порівняно з варіантом з азотним мінеральним удобренням  $N_{150}$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ткачук, О. П. (2022). Еколого-економічна та біоенергетична оцінка технологій вирощування пшениці озимої після бобових багаторічних трав. *Зернові культури*, 6(1), 124–132. doi: 10.31867/2523-4544/0215
2. Шкатула, Ю. М., & Мандрик, Ю. Ю. (2024). Формування урожайності зерна пшениці озимої залежно від хімічних заходів. *Аграрні інновації*, 26, 132–137. doi: 10.32848/agrar.innov.2024.26.19
3. Яковець, Л. А. (2022). Дослідження впливу кліматичних змін та застосування добрив на інтенсивність накопичення нітратів в рослинах пшениці озимої. *Сільське господарство та лісівництво*, 2(25), 217–226. doi: 10.37128/2707-5826-2022-2-17

4. Пінчук, Н. В., Вергелес, П. М., Коваленко, Т. М., & Амонс, С. Е. (2022). Ефективність застосування біопрепаратів у посівах пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу. *Сільське господарство та лісівництво*, 1(24), 96–113. doi: 10.37128/2707-5826-2022-1-7
5. Мазур, В. А., Панцирева, Г. В., & Копитчук, Ю. М. (2020). Збереження родючості ґрунту за раціонального використання системи удобрення і норми висіву озимої пшениці. *Сільське господарство та лісівництво*, 2(17), 5–14. doi: 10.37128/2707-5826-2020-2-1
6. Поліщук, М. І. (2018). Формування продуктивності пшениці озимої залежно від застосування мінеральних добрив та бактеріальних препаратів в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*, 9, 29–40.
7. Господаренко, Г. М., Рябовол, Я. С., Черно, О. Д., Любич, В. В., & Крижанівський, В. Г. (2020). Ріст і розвиток пшениці озимої у весняно-літній період вегетації залежно від умов мінерального живлення в Правобережному Лісостепу України. *Вісник Уманського національного університету садівництва*, 2, 3–8. doi: 10.31395/2310-0478-2020-2-3-8
8. Базалій, В. В., Домарацький, Є. О., Пічура, В. І., & Домарацький, О. О. (2014). *Екологізація технології вирощування озимої пшениці в зоні південного Степу України*. Херсон.
9. Ярошенко, С. С. (2018). Вплив мінеральних добрив і біопрепаратів на формування зернової продуктивності пшениці озимої в північному Степу України. *Зернові культури*, 2(2), 245–251. doi: 10.31867/2523-4544/0032
10. Дубицький, О. Л. (2015). Урожайність і якість зерна озимої пшениці за біологізованих систем удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, 57, 81–86.
11. Сметанко, О. В., Бурикін, С. І., & Кривенко, А. І. (2018). Вплив елементів біологізації вирощування озимої пшениці на різних фонах мінерального живлення в умовах Південного Степу України. *Вісник аграрної науки*, 8(785), 33–37. doi: 10.31073/agrovisnyk201808-05
12. Шевченко, І. П. (2015). Особливості агротехнології вирощування пшениці озимої в системі ґрунтозахисного біологічного землеробства Лісостепу. *Корми і кормовиробництво*, 81, 125–131.
13. Грицаєнко, З. М., Грицаєнко, А. О., & Карпенко, В. П. (2003). *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів*. Київ: ЗАТ “Нічлава”.

## AGROECOLOGICAL SUBSTANTIATION OF THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF MICROBIAL BIOPREPARATIONS IN WINTER WHEAT CROPS IN THE CONTEXT OF PRESERVING SOIL RESILIENCE

**Tkachuk O.**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor  
Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)  
e-mail: tkachukop@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0647-6662>

**Hutsol H.**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor  
Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)  
e-mail: gucolg@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6327-6555>

**Kovka N.**

Assistant  
Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)  
e-mail: natalikovka41@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4556-2678>

Given the importance of greening winter wheat growing technologies, achieving further growth in the productivity of its crops becomes an extremely difficult task. In this regard, the main goal of the work was to determine the agroecological efficiency of using biopreparations in winter wheat crops to increase its yield and improve the stability of the soil environment. The effectiveness of the Bionorma series of growth-stimulating biopreparations was studied: Bionorma Nitrogen (5 l/ha), Bionorma Phosphorus (5 l/ha) and Bionorma Antistress (5 l/ha), compared with traditional mineral fertilizers ( $N_{150}P_{50}K_{50}$ ,  $N_{150}$  and  $P_{50}$ ). The main attention was paid to their impact on the yield of winter wheat of the RZhT Reform cultivar and the soil condition in the agroecological context during 2022–2024. Bionorma preparations were applied to the soil by spraying during pre-sowing cultivation. The working fluid consumption rate was 200 l/ha. The use of Bionorma biopreparations can become a real alternative to mineral fertilizers when growing winter wheat. They not only help increase grain yield, but also have a positive effect on the agroecological state of the soil. In particular, the combination of Bionorma Nitrogen, Bionorma Phosphorus and Bionorma Antistress makes it possible to increase grain yield by 13.2% compared with variants without the use of fertilizers. In addition, the use of these biopreparations contributes to an increase in the content of alkaline-hydrolyzable nitrogen in the soil by 5 mg/kg compared with the control variant, and the content of mobile phosphorus increases by 8 mg/kg (compared with the control) and by 2 mg/kg (compared with the mineral fertilizer variant P50). There is also a decrease in the concentration of toxic elements in the soil: mobile forms of lead — by 0.26 mg/kg compared with the control and by 0.39 mg/kg compared with the variant

with mineral fertilizer  $N_{150}$ ; cadmium — by 0.05 mg/kg and 0.08 mg/kg, respectively; copper — by 0.13 mg/kg and 0.22 mg/kg; zinc — by 0.11 mg/kg and 0.13 mg/kg. Studies also confirm the positive effect of the complex of biopreparations on the optimization of the acid-base balance (pH) of the soil solution. The pH level increases by 0.08 units compared with the control and by 0.13 units compared with the variant with  $N_{150}$ . At the same time, a decrease in the hydrolytic acidity of the soil was noted by 0.05 mg-eq/100 g compared with the control and by 0.27 mg-eq/100 g compared with the nitrogen mineral fertilizer  $N_{150}$ .

**Keywords:** grain crops, biopreparations, yield, cultivation technologies, agricultural practices, pedosphere, conservation.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**ТКАЧУК Олександр Петрович** — доктор сільськогосподарських наук, професор, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: tkachukor@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0647-6662>).

**ГУЦОЛ Галина Василівна** — кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: gucol@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6327-6555>).

**КОВКА Наталія Сергіївна** — асистент, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: natalikovka41@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4556-2678>).

Наукові дослідження виконані за рахунок коштів гранту Президента України молодим ученим і докторам наук “Розробка фітомеліоративних заходів відновлення деградованих ґрунтів внаслідок бойових дій в контексті гарантування продовольчої та енергетичної безпеки України” (гранто-отримувач Олександр Ткачук), наданого Національним фондом досліджень України.

## НОВИНИ

### НОВИНИ

## НОВИНИ • НОВИНИ • НОВИНИ

**Загибель лісів Європи та пошук нових підходів до лісовідновлення.** З 2018 по 2021 рік Німеччина втратила ~500 тис. га лісу (~5% від загальної площі) через спалах короїда, спричинений посухами; аналогічні втрати фіксують Чехія, Норвегія, Швеція, Франція та Фінляндія. З 2010 р. поглинання вуглецю землями ЄС скоротилося на третину — переважно через деградацію лісів. Як альтернативу монокультурним плантаціям лісівники впроваджують змішані посадки (бук, ялиця, платан): дослідження у Nature (2018) і PNAS підтверджують, що видове різноманіття є найефективнішим захистом від посухи та шкідників. “Країни можуть використовувати свої вуглецеві поглиначі з лісів, щоб стверджувати, що вони мають нульові викиди, не відмовляючись повністю від викопного палива. Це дуже небезпечно”, — застерігає Йохан Рокстрем, директор Потсдамського інституту досліджень впливу клімату.

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ГРАУНДФІКС, АЗОТОХЕЛП, ЛИПОСАМ ТА ОРГАНІК-БАЛАНС У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА КУКУРУДЗИ

**В. А. Болоховська**

кандидат технічних наук

Біотехнологічна компанія BTU (м. Київ, Україна)

e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-2728-4589>

**О. В. Нагорна**

Біотехнологічна компанія BTU (м. Київ, Україна)

e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6628-9383>

**Д. О. Яковенко**

аспірант

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

Біотехнологічна компанія BTU (м. Київ, Україна)

e-mail: d.yakovenko@btu-center.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0008-8239-7684>

**Л. А. Янсе**

доктор біологічних наук, член-кореспондент НААН України,

старший науковий співробітник

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

Національна академія аграрних наук України (м. Київ, Україна)

e-mail: liliya.janse@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2567-5907>

**В. В. Бородай**

доктор сільськогосподарських наук, доцент

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)

e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8787-8646>

Установлено економічну доцільність застосування біопрепаратів в агроценозах пшениці озимої та кукурудзи в умовах Лісостепу України. Узагальнення результатів економічної оцінки за 2021–2023 рр. показало, що використання біопрепаратів на посівах пшениці озимої в умовах північно-західної частини Правобережного Лісостепу України забезпечувало стабільно позитивний економічний ефект: середній умовно чистий прибуток становив 2 472–4 439 грн/га, а середня рентабельність додаткових витрат — 230–549%. Сумісне застосування Граундфіксу (1,5 л/га) + Азотохелпу (1,5 л/га) під передпосівну культивування та комбінування обробки насіння Азотохелпом (1,5 л/м) + обробки рослин у фазу весняного кущення Азотохелпом (0,5 л/га) забезпечили високу агрономічну ефективність та економічну доцільність комбінованого застосування біопрепаратів. Найбільш агрономічно й економічно доцільним за вирощування кукурудзи в умовах Північно-східного Лісостепу в середньому за 2021–2023 рр. виявився варіант із застосуванням Азотохелпу (0,5 л/га), який забезпечив найвищу врожайність (10,7 т/га проти 9,5–10,2 т/га у решти варіантів, 9,3 т/га — на контролі), високі показники умовно чистого прибутку (8 916 грн/га) й середньої рентабельності додаткових витрат (2 972%). У роки з достатнім або надмірним зволоженням (2022 р.) економічна ефективність сумісного фоліарного застосування біопрепаратів Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га) та окремого внесення Органік-Балансу (0,5 л/га) знижувалася. Водночас у посушливі роки (2021 і 2023) їх застосування забезпечувало істотний додатковий дохід з одиниці площі, підвищувало стабільність формування врожаю та економічну надійність технології вирощування кукурудзи. Застосування біопрепаратів Граундфікс, Азотохелп, Органік-Баланс і Липосам на основі рістстимулювальних, азотфіксувальних, фосфор- і каліймобілізувальних бактерій та їхніх метаболітів є агрономічно й економічно доцільним елементом технології вирощування зернових культур.

**Ключові слова:** зернові культури, агроценози, умовно чистий прибуток, рентабельність, урожайність, біостимулятори, біодобрива, біоприлипачі.

## ВСТУП

Пшениця м'яка озима (*Triticum aestivum* L.) та кукурудза звичайна (*Zea mays* L.) є одними з головних зернових продовольчих культур, що посідають важливе місце серед продуктів харчування в майже 50 країнах світу (їхній сегмент становить понад 44,3% ринку всіх культур), зокрема і в Україні [1]. У зв'язку із цим збільшення валового виробництва зерна цих культур є основним стратегічним завданням, особливо в умовах воєнного стану, що забезпечить продовольчу й економічну безпеку України.

Екологічний стан сучасного землеробства характеризується високим рівнем антропогенного тиску на агроєкосистеми. Упровадження сталих сільськогосподарських практик стає дедалі важливішим для вирішення глобальних проблем продовольчої безпеки й охорони навколишнього середовища, а мікробні біоінокулянти — перспективним підходом до збереження здоров'я ґрунту та сприяння сталому виробництву сільськогосподарських культур [2].

**Мета дослідження** — визначити економічну ефективність застосування біопрепаратів Граундфікс, Азотохелп, Липосам та Органік-Баланс в агроценозах пшениці озимої та кукурудзи в умовах Лісостепу України.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Одним з ефективних екологічних підходів до зменшення залежності від мінеральних добрив у сільськогосподарському виробництві за збереження високої продуктивності зернових культур є застосування мікробних інокулянтів і біодобрив як елемента технології [3; 4].

Зокрема, встановлено, що інокуляція культур штамами *Azospirillum brasilense* дає змогу скоротити норми внесення азотних добрив на 25% без втрати продуктивності. Ефективність колонізації рослинних тканин при цьому корелює зі способом внесення: позакоренева обробка сприяє активному заселенню філосфери, тоді як ґрунтова інокуляція забезпечує розвиток діазотрофів у ризосфері й кореневій системі [5].

Значний потенціал у покращенні фосфорного живлення рослин демонструють фосфатомобілізуювальні бактерії (*Bacillus megaterium*, *Arthrobacter chlorophenolicus* та *Enterobacter* spp.), застосування яких сприяє інтенсифікації поглинання доступних форм фосфору, що призводить до суттєвого підвищення врожайності як у модельних, так і в польових умовах [6].

Інтеграція бактеріальних препаратів у системи живлення зернових культур стимулює розвиток ґрунтової мікробіоти, що забезпечує пролонговане надходження поживних речовин [7–9]. Окрему увагу привертає синергіч-

ний ефект від поєднання мінеральних добрив із консорціумами азотфіксувальних бактерій (*Klebsiella planticola* та *Enterobacter* spp.), що не лише позитивно впливає на врожайність пшениці та кукурудзи, а й покращує якісні показники продукції, зокрема збільшує вміст білка й акумуляцію макроелементів (N, P, K) у зерні [7]. Інокуляція *Azotobacter chroococcum* збільшує вміст загального азоту й загального фосфору в рослинах кукурудзи порівняно з неінокульованим контрольним варіантом [10].

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження ефективності біопрепаратів в агроценозі пшениці озимої проводили протягом 2020–2023 рр. в умовах північно-західної частини Правобережного Лісостепу України на дослідній станції Хмельницької ДСГДС ІКСГП НААН (с. Самчики Старокостянтинівського р-ну Хмельницької обл.).

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем слабоопідзолений середньосуглинковий, середньопотужний, малогумусний на лісовому суглинку бурувато-пального забарвлення. Облікова площа ділянки — 40 м<sup>2</sup>, повторність — чотириразова, розміщення ділянок — систематичне. Уміст гумусу (за Тюріним) — 2,8–2,9%, рН — 5,8–6,2, гідролітична кислотність — 1,9–2,3 мг-екв/100 г, валові запаси нітрогену — 0,153–0,163%, фосфору — 0,136–0,149%, лужногідролізованого нітрогену — 17–19,3 мг, рухомі форми фосфору та калію (за Чириковим) — 20,8–22,6 та 8–12 мг на 100 г відповідно.

Дослідження ефективності біопрепаратів в агроценозі кукурудзи проводили протягом 2021–2023 рр. в умовах Північно-східного Лісостепу на дослідній станції Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН (с. Сад Сумського р-ну Сумської обл.).

Ґрунт дослідних ділянок — чорнозем типовий малогумусний слабовилугуваний крупнопилуватий середньосуглинковий. Уміст гумусу (за Тюріним) — 4,2–4,8%, рН сольове — 6,0, рН водне — 7,9, уміст легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) — 107, рухомих сполук P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> і K<sub>2</sub>O (за Чириковим) — 62,7 і 67,5 мг на 1 кг ґрунту відповідно. Гранулометричний склад ґрунту (за Качинським) — крупнопилувато-середньосуглинковий: у шарі 0–20 см фізичної глини (часток 0,05–0,01 мм) — 49,1–52,1%, мулу (часток менше ніж 0,001 мм) — 23,4–25,5%.

Досліджували біопрепарати Граундфікс, Азотохелп, Липосам та Органік-Баланс (ВТУ, Україна). До складу біопрепарату Граундфікс входять такі мікроорганізми: *Bacillus velezensis* (*B. subtilis*), *B. subtilis*, *Priestia megaterium* (*B. megaterium* var. *phosphaticum*), *Agrobacterium*

*pusense* (*Azotobacter chroococcum*), *Agr. salinitolerans* (*Enterobacter*), *Paenibacillus polymyxa* (титр  $0,5\text{--}1,5 \times 10^9$  КУО/см<sup>3</sup>). Основою біопрепарату Азотохелп є азотфіксувальні бактерії *Agrobacterium pusense* (*Azotobacter chroococcum*) та біологічно активні продукти їхньої життєдіяльності (титр  $1,0 \times 10^9$  КУО/см<sup>3</sup>). Липосам містить оліго- і полісахариди мікробного походження й біологічно активні сполуки. Органік-Баланс містить азотфіксувальні, фосфор- і каліймобілізувальні бактерії *Bacillus velezensis* (*Bacillus subtilis*), *Agrobacterium pusense* (*Azotobacter chroococcum*), *Paenibacillus polymyxa*, *Enterococcus hirae* (*Enterococcus faecium*), *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus*, що стимулюють ріст рослин, і біологічно активні сполуки (титр  $1,0 \times 10^9$  КУО/см<sup>3</sup>).

У досліді вивчали елементи технології вирощування пшениці озимої сорту Богдана (селекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України). Дослідження проводили за такою схемою: 1 — контроль; 2 — Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 3 — Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 4 — Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивуацію; 5 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазу весняного куцнення; 7 — Азотохелп (0,5 л/га), у фазу весняного куцнення.

Рослини кукурудзи гібрида Трістан ФАО 270 (оригіна́тор — український центр селекції кукурудзи — компанія Mais Dnipro) обробляли

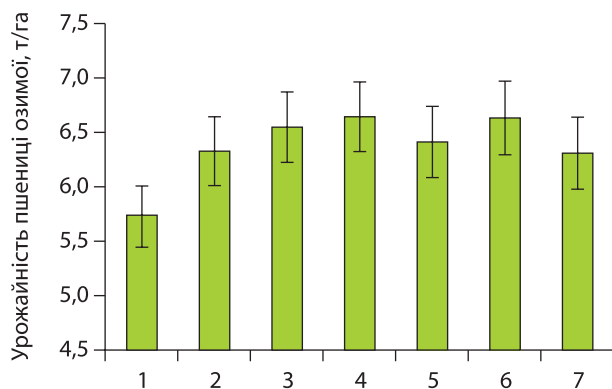


**Рис. 1.** Урожайність пшениці озимої за впливу біопрепаратів, т/га (2021–2023 рр.)

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.

Примітка: 1 — контроль; 2 — Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 3 — Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 4 — Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивуацію; 5 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазу весняного куцнення; 7 — Азотохелп (0,5 л/га), у фазу весняного куцнення.

біопрепаратами у фазі 3–5 листків (ВВСН 13–15). Дослідження проводили за такою схемою: 1 — контроль; 2 — Органік-Баланс (0,5 л/га); 3 — Азотохелп (0,5 л/га); 4 — Липосам (0,5 л/га); 5 — комплекс “Stop Стрес” (Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га)).

Досліди виконували згідно із загальноприйнятими методиками проведення досліджень у землеробстві [11; 12].

Середню рентабельність додаткових витрат розраховували як відношення середнього умовно чистого прибутку до середніх витрат на застосування біопрепаратів і їх внесення. Для аналізу економічної ефективності вирощування пшениці озимої й кукурудзи використовували чинні в сільськогосподарських підприємствах закупівельні ціни та вартість біопрепаратів станом на вересень 2020–2023 рр. Економічну ефективність вирощування пшениці визначали за загальноприйнятою методикою [13].

Статистичну обробку даних проводили, використовуючи програму Microsoft Office Excel® 2010 для Microsoft Windows®. Середні значення порівнювали за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) з  $p \leq 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Установлено економічну доцільність застосування біопрепаратів в агроценозах пшениці озимої та кукурудзи в умовах Лісостепу України.

Застосування біопрепаратів за вирощування пшениці озимої в середньому за 2021–2023 рр. на фоні мінерального живлення  $N_{70-90}P_{60}K_{60}$  зумовило підвищення врожайності рослин (рис. 1).

Найвищі показники врожайності отримано за внесення під передпосівну культивуацію Граундфіксу (1,5 л/га) + Азотохелпу (1,5 л/га) та обробки насіння Азотохелпом (1,5 л/т) + обробки рослин у фазу весняного куцнення Азотохелпом (0,5 л/га) — 6,65 і 6,63 т/га відповідно, у решти варіантів — 6,30–6,55 т/га, на контролі — 5,73 т/га. За їх використання приріст до контролю становив 15,76–16,06% проти 10,01–14,31% у решти варіантів. Така закономірність щодо врожайності рослин спостерігалася як у 2021 та 2023 рр., незважаючи на складні гідротермічні умови, так і у 2022 році за кращих гідротермічних умов. Це зумовило отримання найвищого середнього умовно чистого прибутку — 4 187,1–4 439,0 грн/га (у решти варіантів — 2 472,3–3 647,4 грн/га) (табл. 1).

Сумісне внесення Граундфіксу й Азотохелпу та обробка насіння Азотохелпом позитивно вплинули на розвиток основних екологічних груп мікобіоти ризосфери пшениці

Таблиця 1

## Узагальнена економічна ефективність застосування біопрепаратів на посівах пшениці озимої (2021–2023 рр.)

| Варіант досліджу | Умовно чистий прибуток, грн/га |         |         | Середній умовно чистий прибуток, грн/га | Середні додаткові витрати на застосування препаратів, грн/га | Середня рентабельність додаткових витрат, % |
|------------------|--------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                  | 2021 р.                        | 2022 р. | 2023 р. |                                         |                                                              |                                             |
| 2                | 3 227,0                        | 2 336   | 1 854   | 2 472,3                                 | 1 076,0                                                      | 230                                         |
| 3                | 4 649,3                        | 2 809   | 3 484   | 3 647,4                                 | 1 220,0                                                      | 298                                         |
| 4                | 6 417,9                        | 3 920   | 2 979   | 4 439,0                                 | 1 153,0                                                      | 385                                         |
| 5                | 5 838,0                        | 1 406   | 3 405   | 3 549,7                                 | 647,2                                                        | 549                                         |
| 6                | 6 091,4                        | 3 406   | 3 064   | 4 187,1                                 | 1 267,7                                                      | 330                                         |
| 7                | 3 076,7                        | 3 540   | 1 909   | 2 841,9                                 | 553,8                                                        | 513                                         |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Примітка: 1 — контроль; 2 — Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивування; 3 — Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивування; 4 — Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивування; 5 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазу весняного кушення; 7 — Азотохелп (0,5 л/га), у фазу весняного кушення.

озимої, ріст і розвиток рослин, сприяли кращому формуванню елементів урожаю, а додаткове підживлення рослин Азотохелпом у фазу весняного кушення сприяло підвищенню їхньої стійкості до стресових кліматичних чинників [14].

Середні додаткові витрати на сумісне застосування препаратів Граундфіксу (1,5 л/га) + Азотохелпу (1,5 л/га) під передпосівну культивування та обробку насіння Азотохелпом (1,5 л/т) + обробку рослин у фазу весняного кушення Азотохелпом (0,5 л/га) становили 1 153,0–1 267,7 грн/га, що було вище за витрати на окреме застосування. Тому середня рентабельність додаткових витрат у цих варіантах становила 385 і 330% відповідно (за окремого внесення Азотохелпу (1,5 л/т) для обробки насіння та Азотохелпу (0,5 л/га) для обробки рослин у фазу весняного кушення — 513 і 549% відповідно, у решти варіантів — 230–298%). Висока рентабельність додаткових витрат за окремого внесення Азотохелпу на різних етапах розвитку рослин зумовлена низькими середніми додатковими витратами на застосування препаратів. Однак у цих варіантах внесення вплив на біологічну активність мікроорганізмів ризосфери пшениці озимої, розвиток біометричних показників, формування продуктивності та врожайності рослин виявився найменшим. Отже, попри високі відсотки рентабельності, застосування Азотохелпу (1,5 л/т) для обробки насіння та застосування Азотохелпу (0,5 л/га) у фазу весняного кушення значно поступають за агрономічними показниками, мають невисоку врожайність і не забезпечують максимального використання біологічного потенціалу рослин.

Окрім високої рентабельності, при економічній оцінці необхідно враховувати не лише відносні, а й абсолютні агрономічні й економічні показники, як-от приріст врожайності та умовно чистий прибуток. Незважаючи на дещо вищу собівартість технології, за комплексом агрономічних та економічних показників, впливом на мікробіологічну активність ризосфери, ростові процеси й формування продуктивності, найбільш економічно доцільними є внесення під передпосівну культивування Азотохелпу (3 л/га), Граундфіксу (1,5 л/га) + Азотохелпу (1,5 л/га) та обробка насіння Азотохелпом (1,5 л/т) + обробка рослин Азотохелпом (0,5 л/га) у фазу весняного кушення.

Аналогічні дані отримали J. Fukami, M. A. Nogueira, R. S. Araujo й M. Hungria. Застосування позакореневого обприскування штамами *Azospirillum brasilense* ініціює інтенсивне заселення філосфери, тоді як їх інтродукція в ґрунт забезпечує формування стійких популяцій діазотрофів у ризосфері та ендосфері кореневої системи. Це дає змогу знизити обсяги застосування мінеральних добрив на 25% при збереженні стабільних показників урожайності [5].

В. А. Нікорич встановив, що використання комплексу багатофункціональних мікробних біопрепаратів Мікофренд, Граундфікс та Екостерн забезпечило значне зростання вмісту рухомого фосфору, біологічної активності ґрунту у 3–5 разів, зниження ураження рослин збудниками жовтої іржі й піренефорозу та значний позитивний економічний ефект (+1 654,56 грн/га) [15].

Застосування біопрепаратів на основі азотфіксувальних, фосфор- і каліймобілізувальних

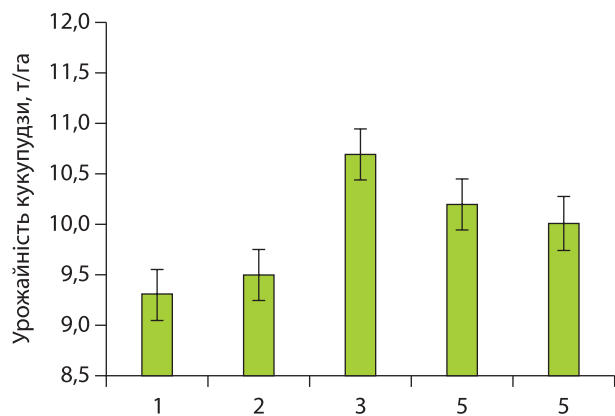


**Рис. 2.** Урожайність кукурудзи (т/га) за впливу біопрепаратів (2021–2023 рр.)

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.

Примітка: 1 — контроль; 2 — Органік-Баланс (0,5 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків; 3 — Азотохелп (0,5 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків; 4 — Липосам (0,5 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків; 5 — Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків.

бактерій сприяє кращому живленню рослин і зменшенню внесення мінеральних добрив. Так, за використання біостимуляторів на основі *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus megaterium* і фізіологічно активних сполук при вирощуванні озимої пшениці встановлено можливість зменшити використання до 30% мінерального азоту. Було отримано вищий урожай зерна на 13% порівняно з контролем, при цьому якість зерна суттєво не змінилася. За розрахунками авторів А. Artyszak і D. Gozdowski, упровадження біопрепаратів та обмеження удобрення пшениці мінеральним азотом лише до 30 кг/га азоту дало б змогу заощадити його споживання на 72 тис. т/рік [16].

Застосування у сівозмінах Південного Степу України мінеральних добрив у нормі

$N_{32}P_{32}K_{32}$  і додаткове позакореневе підживлення біопрепаратом Азотохелп при вирощуванні пшениці озимої після гірчиці білої забезпечили найбільші показники економічної ефективності. При цьому умовно чистий прибуток сягнув 10,1 тис. грн/га, а рівень рентабельності — 112,7% [17]. Учені Л. М. Сківка, С. О. Гудзь, Я. П. Цвей та О. І. Присяжнюк визначили, що застосування біологічної системи удобрення (з використанням біопрепаратів) пшениці озимої забезпечило прибуток 31 185 грн/га і рівень рентабельності 180% [18].

Установлено істотне підвищення врожайності кукурудзи за дії біопрепаратів Азотохелп, Липосам і їх сумісного застосування з Органік-Балансом у середньому за 2021–2023 рр. Найвищий урожай було отримано за дії Азотохелпу (0,5 л/га) — 10,7 т/га проти 9,5–10,2 т/га у решти варіантів, 9,3 т/га — на контролі (рис. 2).

За посушливих умов періоду найактивнішого росту й переходу до генеративної фази рослин кукурудзи 2021 року найвищу врожайність встановлено за сумісного фоліарного застосування біопрепаратів Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га) та окремого внесення Азотохелпу (0,5 л/га) — 10,0 і 9,94 т/га відповідно, а умовно чистий прибуток становив 11 119,0 і 10 791 грн/га (табл. 2).

Застосування Липосаму (0,5 л/га) у 2023 році також характеризувалося високою окупністю: умовний чистий прибуток становив 9 121,0 грн/га, що підтверджує ефективність біополімерних препаратів у зменшенні негативного впливу посухи й підвищенні стабільності формування врожаю [19; 20]. Біоприлипач Липосам забезпечує тривалу дію робочого розчину на листову поверхню, що дає змогу рослині закладати репродуктивні органи з більшим виходом зерна в критичний період диференціації зачаткового суцвіття.

Таблиця 2

**Узагальнена економічна ефективність застосування біопрепаратів на посівах кукурудзи за 2021–2023 рр.**

| Варіант | Умовно чистий прибуток, грн/га |         |         | Середній умовно чистий прибуток, грн/га | Середні витрати, грн/га | Середня рентабельність додаткових витрат, % |
|---------|--------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|
|         | 2021 р.                        | 2022 р. | 2023 р. |                                         |                         |                                             |
| 2       | 1 341                          | 335     | 2 169   | 1 282                                   | 318                     | 403                                         |
| 3       | 10 791                         | 7 503   | 8 453   | 8 916                                   | 300                     | 2 972                                       |
| 4       | 4 857                          | 2 988   | 9 121   | 5 655                                   | 264                     | 2 142                                       |
| 5       | 11 119                         | –4 305  | 6 129   | 4 314                                   | 410                     | 1 052                                       |

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Примітка: 1 — контроль; 2 — Органік-Баланс (0,5 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків; 3 — Азотохелп (0,5 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків; 4 — Липосам (0,5 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків; 5 — Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га), обробка рослин у фазу 3–5 листків.

Комплексна схема (сумісне застосування Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га)) в умовах надмірного вологозабезпечення впродовж вегетаційного періоду 2022 року виявилася економічно недоцільною (умовно чистий прибуток становив –4 305,0 грн/га), що зумовлено спрямованістю дії комплексу на підвищення стійкості рослин в умовах посухи. У 2023 році всі досліджувані варіанти забезпечили позитивний економічний ефект порівняно з контролем (умовно чистий прибуток коливався від 2 169 до 9 121 грн/га).

Узагальнення економічної ефективності за 2021–2023 роки показало, що умовно чистий прибуток, залежно від варіанта застосування біопрепаратів, становив у середньому від 1 282 до 8 916 грн/га, а середня рентабельність додаткових витрат — від 403 до 2 972%.

Найбільш стабільний і високий економічний ефект у різні за погодними умовами роки забезпечувало застосування Азотохелпу (0,5 л/га), середній умовно чистий прибуток від якого становив 8 916 грн/га із рентабельністю 2 972%.

Отримані результати підтверджують високу ефективність біопрепаратів Азотохелп (0,5 л/га), Липосам (0,5 л/га) та комплексу Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га) у роки з проявом абіотичних стресів і їхню економічну доцільність у технології вирощування кукурудзи.

Комплексне дослідження впливу препаратів Азотохелп, Органік-Баланс і Липосам дало змогу визначити молекулярні й фізіолого-біохімічні механізми індукції посухостійкості рослин кукурудзи [20]. Формування адаптивної відповіді рослин на абіотичний стрес було зумовлене підвищенням показників тургесцентності листків і зниженням експресії ключових генів-маркерів водного стресу за дії біопрепаратів, що вказує на підвищення стійкості до дефіциту води на клітинному рівні та є критично важливим для підтримання фотосинтетичної й метаболічної активності за умов посухи. Також виявлено підвищення активності антиоксидантної системи та зростання концентрації флавоноїдів у тканинах листків, що мінімізує наслідки окиснювального стресу [20].

Аналогічні дані за вирощування кукурудзи отримали Л. М. Сківка, С. О. Гудзь, Я. П. Цвей та О. І. Присяжнюк, у дослідженнях яких визначено, що застосування біологічної системи удобрення (з використанням біопрепаратів) кукурудзи на зерно забезпечило прибуток 33 863 грн/га і рентабельність 151% [18].

Т. Ю. Марченко, Ю. О. Лавриненко, М. Я. Кирпа та О. Ф. Стасів з'ясували, що найбільший умовно чистий прибуток і рентабельність у лінії кукурудзи ДК 411 були за густоти

рослин 80 тис./га й обробки біопрепаратом на основі ризосферних бактерій роду *Pseudomonas* із титром  $5,0 \cdot 10^9$  КУО/см<sup>3</sup> і біологічно активних речовин (БАР) — 91,5 тис. грн/га і 224% відповідно, а максимальна врожайність насіння й рентабельність технології за використання біопрепаратів кожної лінії обмежувалися певною щільністю ценозу. Автори вказують, що для кожної лінії гібрида кукурудзи необхідна індивідуальна технологія вирощування, що передбачає певну густоту рослин і застосування біопрепаратів із ристрегулювальною дією [21].

Отже, використання біопрепаратів Азотохелп, Липосам та Органік-Баланс є ефективним чинником підвищення адаптивності кукурудзи до абіотичних стресів і сприяє зростанню економічної ефективності виробництва зерна.

## ВИСНОВКИ

Застосування біопрепаратів Граундфікс та Азотохелп у посівах пшениці озимої забезпечувало стабільно позитивний економічний ефект. Середній умовно чистий прибуток за варіантами становив 2 472–4 439 грн/га, а середня рентабельність додаткових витрат — 230–549%.

За комплексом агрономічних та економічних показників, впливом на ростові процеси й формування продуктивності сумісне внесення під передпосівну культивування Граундфіксу (1,5 л/га) + Азотохелпу (1,5 л/га) та обробка насіння Азотохелпом (1,5 л/т) + обробка рослин у фазу весняного кушення Азотохелпом (0,5 л/га) виявилися найкращими, економічно доцільними варіантами в технології вирощування пшениці озимої (найвищі показники умовно чистого прибутку становили 3 647,4–4 439,0 грн/га). Попри високі відсотки рентабельності, за окремого застосування Азотохелпу (1,5 л/т) для обробки насіння та Азотохелпу (0,5 л/га) у фазу весняного кушення встановлено помірний ріст і розвиток рослин та невисокі показники врожайності.

Застосування біопрепаратів у технології вирощування кукурудзи в середньому забезпечує умовно чистий прибуток у межах 1 282–8 916 грн/га із середньою рентабельністю додаткових витрат до 2 972%. Найбільша окупність препаратів спостерігається в роки з проявом абіотичних стресів (посухи), за яких вони сприяють стабілізації формування врожаю.

Для забезпечення стабільно високого прибутку, незалежно від метеорологічних умов року, найбільш доцільним є використання Азотохелпу (0,5 л/га), який забезпечив високі показники умовно чистого прибутку — від 7 503 грн/га у 2022 р. з надмірними опадами до 10 791 грн/га за посушливих умов 2021 р. Середня рентабельність додаткових витрат за використання Азотохелпу (0,5 л/га) становила 2 972%. Комплексні

суміші препаратів Органік-Баланс (0,5 л/га) + Азотохелп (0,3 л/га) + Липосам (0,25 л/га) рекомєндовано використовувати передусім у зонах

із високим ризиком дефіциту вологи, оскільки в умовах надмірного зволоження можуть не окупатися витрати.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Market.us. (2025). *Global biofertilizer market size, share analysis report*. Retrieved from <https://market.us/report/global-biofertilizer-market/>
2. Didur, I., Lutkovska, S., & Pantsyryeva, H. (2025). European prospects for the development of crop production technologies in Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*, 11(3), 353–360. doi: 10.30525/2256-0742/2025-11-3-353-360
3. Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: A potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 3315–3335. doi: 10.1007/s11356-016-8104-0
4. Gumeniuk, I. I., Levishko, A. S., Demyanyuk, O. S., & Sherstoboeva, O. V. (2022). Properties of microorganisms isolated from soils under conventional and organic farming. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, 84(2), 12–23. doi: 10.15407/microbiolj84.02.012
5. Fukami, J., Nogueira, M. A., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2016). Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, 6, 3. doi: 10.1186/s13568-015-0171-y
6. Kumar, A., Maurya, B., & Raghuwanshi, R. (2014). Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3, 121–128. doi: 10.1016/j.bcab.2014.08.003
7. Latkovic, D., Maksimovic, J., Dinic, Z., Pivic, R., Stanojkovic, A., & Stanojkovic-Sebic, A. (2020). Case study upon foliar application of biofertilizers affecting microbial biomass and enzyme activity in soil and yield related properties of maize and wheat grains. *Biology*, 9(12), 452. doi: 10.3390/biology9120452
8. Ali, A., Liu, X., Yang, W., Li, W., Chen, J., Qiao, Y., Gao, Z., & Yang, Z. (2024). Impact of bio-organic fertilizer incorporation on soil nutrients, enzymatic activity, and microbial community in wheat–maize rotation system. *Agronomy*, 14(9), 1942. doi: 10.3390/agronomy14091942
9. Волкогон, В. В., Потапенко, Л. В., Дімова, С. Б., Волкогон, К. І., & Халеп, Ю. М. (2021). Біологічні чинники оптимізації систем удобрення сільськогосподарських культур у сівозміні. *Вісник аграрної науки*, 99(11), 33–41. doi: 10.31073/agroviznyk202111-04
10. Song, Y., Li, Z., Liu, J., Zou, Y., Lv, C., & Chen, F. (2021). Evaluating the impacts of *Azotobacter chroococcum* inoculation on soil stability and plant property of maize crop. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 824–831. doi: 10.1007/s42729-020-00404-w
11. Лихочвор, В. В., Петриченко, В. Ф., Івашук, П. В., & Корнійчук, О. В. (2010). *Рослинництво: технології вирощування сільськогосподарських культур*. Львів: НВФ “Укртехнології”.
12. Сіроштан, А. А., & Кавунець, В. П. (Ред.). (2021). *Виробництво насіння пшениці озимої та ярої (методичні рекомендації)*. Миронівка.
13. Надвиничний, С. А. (2016). Методологія дослідження економічної ефективності виробництва сільськогосподарської продукції. *Економічний аналіз*, 25(2), 115–121.
14. Yakovenko, D. O., Boroday, V. V., & Bolokhovska, V. A. (2025). Directionality of microbiological processes in the rhizosphere of winter wheat under the influence of biological products Azotohelp® and Groundfix®. In *Modern agronomy trends: innovation, sustainable development and the future of agriculture* (pp. 434–458). Riga: Baltija Publishing. doi: 10.30525/978-9934-26-588-4-18
15. Нікорич, В. А. (2025). Роль біопрепаратів у компенсації дефіциту вегетації та економічній ефективності пізньої сівби озимої пшениці. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи)*, 17(2), 302–313. doi: 10.31861/biosystems2025.02.302
16. Artyszak, A., & Gozdowski, D. (2021). Is it possible to maintain the quantity and quality of winter wheat grain by replacing part of the mineral nitrogen dose by growth activators and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)? *Sustainability*, 13(11), 5834. doi: 10.3390/su13115834
17. Кривенко, А. І. (2019). Економічна ефективність елементів технології вирощування пшениці озимої у сівозмінах Південного Степу України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 2. doi: 10.31548/dopovidi2019.02.015
18. Сківка, Л. М., Гудзь, С. О., Цвей, Я. П., & Присяжнюк, О. І. (2020). Економічна ефективність вирощування культур агроценозу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, 28, 121–129. doi: 10.47414/np.28.2020.211063
19. Hunter, M. C., Smith, R. G., Schipanski, M. E., Atwood, L. W., & Mortensen, D. A. (2017). Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *BioScience*, 67(4), 386–391. doi: 10.1093/biosci/bix010
20. Bolokhovskiy, V., Nagorna, O., Bolokhovska, V., Yakovenko, D., Boroday, V., Zelena, L., Likhanov, A., & Bukhonska, Y. (2024). The role of biologicals Azotohelp®, Liposam®, and Organic-Balance® as mitigators of abiotic stress in maize plants. In L. Kuzmych (Ed.), *Sustainable soil and water management practices for agricultural security* (pp. 493–524). IGI Global. doi: 10.4018/979-8-3693-8307-0.ch018
21. Марченко, Т. Ю., Лавриненко, Ю. О., Кирпа, М. Я., & Стасів, О. Ф. (2021). Ефективність застосування біопрепаратів під час вирощування ліній-батьківських компонентів гібридів кукурудзи за різної густоти рослин в умовах краплинного зрошення. *Аграрні інновації*, 5, 135–142. doi: 10.32848/agraar.innov.2021.5.22

## ECONOMIC EFFICIENCY OF USING GROUNDFIX, AZOTOHELP, LIPOSAM, AND ORGANIC-BALANCE BIOPRODUCTS IN THE TECHNOLOGY OF WINTER WHEAT AND MAIZE CULTIVATION

**Bolohovska V.**

Candidate of Technical Sciences

BTU Biotech Company (Kyiv, Ukraine)

e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-2728-4589>

**Nahorna O.**

BTU Biotech Company (Kyiv, Ukraine)

e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6628-9383>

**Yakovenko D.**

Postgraduate Student

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

BTU Biotech Company (Kyiv, Ukraine)

e-mail: d.yakovenko@btu-center.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0008-8239-7684>

**Yanse L.**

Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member

of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Senior Researcher

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

National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

e-mail: liliya.janse@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2567-5907>

**Borodai V.**

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

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

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8787-8646>

*The economic viability of using bioproducts in winter wheat and maize agroecosystems in the Forest-Steppe region of Ukraine has been established. A summary of the results of the economic assessment for 2021–2023 showed that the use of biological products on winter wheat crops in the northwestern part of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine provided a consistently positive economic effect, with an average conditional net profit of 2,472–4,439 UAH/ha and an average return on additional costs of 230–549%. The combined use of Groundfix (1.5 l/ha) + Azotohelp (1.5 l/ha) for pre-sowing cultivation and the combination of seed treatment with Azotohelp (1.5 l/t) + plant treatment in the spring tillering phase with Azotohelp (0.5 l/ha) showed high agronomic efficiency and economic advantages under the combined application of biological products. The most agronomically and economically feasible option for growing maize in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe in 2021–2023 was the use of Azotohelp (0.5 l/ha), which provided the highest yield (10.7 t/ha compared to 9.5–10.2 t/ha in the other options, 9.3 t/ha in the control), high net profit (8,916 UAH/ha) and an average return on additional costs (2,972%). In years with sufficient or excessive moisture (2022), the economic efficiency of the combined foliar application of the biological products Organic-Balance (0.5 l/ha) + Azotohelp (0.3 l/ha) + Liposam (0.25 l/ha) and the separate application of Organic-Balance (0.5 l/ha) decreased. At the same time, in dry years (2021 and 2023), their application provided significant additional income per unit area, increased the stability of yield formation and the economic reliability of maize cultivation technology. The use of Groundfix, Azotohelp, Organic-Balance and Liposam biological products based on growth-stimulating, nitrogen-fixing, phosphorus- and potassium-mobilising bacteria and their metabolites is an agronomically and economically viable element of cereal crop cultivation technology.*

**Keywords:** grain crops, agrocenoses, conditional net profit, profitability, yield, biostimulants, biofertilisers, bioadhesives.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**БОЛОХОВСЬКА Валентина Антонівна** — кандидат технічних наук, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки, директор із перспектив і розвитку, Біотехнологічна компанія BTU (вул. Академіка Амосова, 1/34, оф. 1, с. Софіївська Борщагівка, Бучанський р-н, Київська обл., Україна, 08138; e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-2728-4589>).

**НАГОРНА Ольга Володимирівна** — лауреат Державної премії в галузі науки і техніки, головний мікробіолог, Біотехнологічна компанія BTU, заступник директора з наукових питань (вул. Будівельників, 35, м. Ладизин, Вінницька обл., Україна, 24321; e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6628-9383>).

**ЯКОВЕНКО Дмитро Олексійович** — аспірант, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143); керівник міжнародного департаменту, Біотехнологічна компанія BTU (вул. Академіка Амосова, 1/34, с. Софіївська Борщагівка, Бучанський р-н, Київська обл., Україна, 08138); e-mail: d.yakovenko@btu-center.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0008-8239-7684>.

**ЯНСЕ Лілія Амінівна** — доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент НААН України, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143); заступник академіка-секретаря Відділення землеробства, меліорації та механізації НААН України (вул. М. Омеляновича-Павленка, 9, м. Київ, Україна, 01010); e-mail: liliya.janse@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2567-5907>.

**БОРОДАЙ Віра Віталіївна** — доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143); доцент кафедри екобіотехнології та біорізноманіття, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041; e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8787-8646>).

## Новини

### Новини

## Новини • Новини • Новини

Україна стала учасницею глобальної програми **BIOFIN** (*Biodiversity Finance Initiative*), що має на меті залучення фінансування для збереження та відновлення біорізноманіття. Програма дасть можливість перейти від простого підрахунку екологічних збитків до системного планування відновлення екосистем, що особливо актуально, оскільки через війну понад 30% природоохоронних територій України (понад 900 об'єктів) уже зазнали впливу бойових дій. Це стане ключовим інструментом для переходу до стратегічного “зеленого” відновлення країни.

# ARTIFICIAL BIOLOGICAL SYSTEMS FOR TERRESTRIAL AND SPACE AGRICULTURE: PLANT-MICROBIAL COMPLEXES AND ADAPTATION MECHANISMS

**Adamchuk-Chala N.**

*Doctor of Biological Sciences*

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

*McGill University (Montreal, Canada)*

*e-mail: nadiaadamchuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2743-002X>*

**Subramanian S.**

*PhD in Plant Science*

*McGill University (Montreal, Canada)*

*e-mail: sowmyalakshmi.subramanian@mcgill.ca;*

**Lefsrud M.**

*PhD in Plant Physiology*

*McGill University (Montreal, Canada)*

*e-mail: mark.lefsrud@mcgill.ca;*

**Chala Ye.**

*MSc (A) in Human Nutrition*

*McGill University (Montreal, Canada)*

*e-mail: yelyzaveta.chala@mail.mcgill.ca; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0286-3597>*

The article analyzes the current development of artificial biological systems (ABS) for controlled agriculture on Earth and in spaceflight conditions. Particular attention is given to plant-microbial complexes (PMCs), hydroponic and substrate-based growing systems, and plant adaptation mechanisms under altered gravity. Results of laboratory, orbital, and microgravity cultivation experiments are summarized. Microgravity-induced changes in chloroplast ultrastructure, photosynthetic metabolism, cytoskeletal organization, and hormonal regulation are reviewed. Application of biofertilizers and microbial inoculants significantly enhances plant performance in controlled environments. Key technological needs for long-term bioregenerative life support systems are identified.

**Keywords:** controlled environment cultivation, hydroponic nutrient delivery, bioregenerative life support, chloroplast ultrastructure, photosynthetic metabolism, gravity-related responses, rhizosphere interactions, biofertilizer application.

## INTRODUCTION

Artificial biological systems have been developed as part of the agricultural industry to provide food for a growing global population [1; 2]. These systems offer distinct advantages over traditional farming: 1) they reduce dependence on adverse weather, weeds, and pests; 2) enable full utilization of fertilizers; 3) allow year-round cultivation (including fall and winter); 4) free up large tracts of land; and 5) help address agricultural, environmental, and demographic challenges. Indeed, soilless and hydroponic cultivation has become increasingly feasible and efficient [3; 4].

**This study aims** to identify current advances in controlled-environment agriculture, characterize the role of plant-microbe interac-

tions, analyze plant responses to altered gravity, and define technological priorities for bioregenerative life support systems.

## ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

Cultivation of plants in an artificial environment with hydroponic nutrient delivery is recognized as more effective than soil-based growing under equivalent climatic conditions. Science-based agricultural technologies further enhance product quality [1; 2; 5–7]. Recent reviews document how modern hydroponic systems with optimized nutrient films, automation, and monitoring can significantly boost yield, resource-use efficiency, and sustainability [8; 9].

However, using artificial conditions for plant cultivation is challenging due to the requirements for large volumes of nutrient solutions, continuous monitoring of composition, aeration, and prevention of microbial contamination. Consequently, there is renewed interest in developing new, easily renewable substrates with defined chemical composition, capable of supporting multiple high-yield cycles, and eliminating plant pests and pathogens [9; 10]. More recently, attention has turned to integrating plant-microbe systems and substrate innovations for closed-loop cultivation, particularly in controlled environments [11].

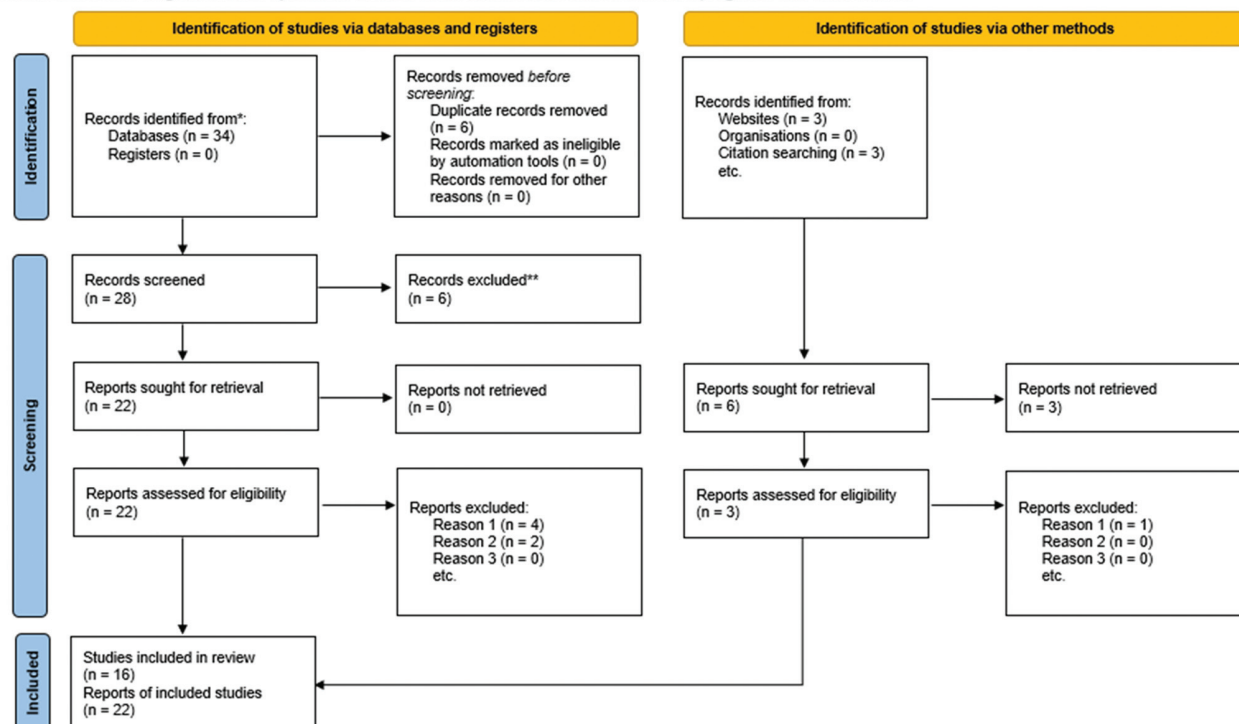
Particular interest among researchers is drawn to experiments on developing advanced life-support systems for space crews in microgravity, such as greenhouse modules on the research docking module of the International Space Station (ISS). At present, only technologies for cultivating certain crops on artificial non-renewable substrates (to supply vitamins for crew members) have been developed. Extending the service life of greenhouse chambers (i.e., growing plants without replacing the substrate) will require productive plant-microbial complexes in microgravity conditions, capable of performing the three core

processes that sustain life on Earth — photosynthesis, nitrogen fixation, and mineralization. Research in plant biology for space remains a critical area, addressing both the fundamental problem of gravity sensing and adaptation at the cellular/molecular level, and the applied challenge of creating controlled biological life support systems for human spaceflight [12;13].

## MATERIALS AND METHODS

The methodology of this study was based on a systematic literature review conducted in accordance with the PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines. A structured search strategy was applied to identify relevant publications through scientific databases and additional sources. Records obtained from databases and other methods were screened for relevance, duplicates were removed, and eligibility was assessed using predefined inclusion and exclusion criteria. The study selection process is summarized using a PRISMA flow diagram (*Fig. 1*), which transparently presents the stages of identification, screening, eligibility assessment, and inclusion. As a result of this procedure, 38 peer-reviewed sources

PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases, registers and other sources



\*Consider, if feasible to do so, reporting the number of records identified from each database or register searched (rather than the total number across all databases/registers).

\*\*If automation tools were used, indicate how many records were excluded by a human and how many were excluded by automation tools.

Source: Page MJ, et al. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Fig. 1.** PRISMA 2020 flow diagram of the literature selection process

were selected and included in the final analysis, forming the evidence base for the synthesis and interpretation of results.

## RESULTS AND DISCUSSION

In the early 1970s, the Institute of Microbiology and Virology of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR developed a theoretical basis for space biological experiments with organisms in an active physiological state during flight. Since then, it has been important to study the vital activity of organisms during prolonged spaceflight and to elucidate adaptation mechanisms to spaceflight conditions [14; 15]. Today, Ukraine is one of the principal centres for comprehensive cell biology studies in space conditions, with Ukrainian scientists contributing important findings on the gravity sensitivity of plant cells and general patterns of biological effects of microgravity, a constant factor in spaceflight [16; 17].

It is well known that microgravity alters plant growth, its morphology, physiology, and biochemistry [18; 19]. Modern research in space biology now focuses on cellular mechanisms of plant adaptation to microgravity. Plant cells of different functional specializations respond to changes in the gravitational vector [16; 17]. Under microgravity, in the columella cells of the root cap, amyloplasts may be distributed throughout the cell volume rather than sedimenting, thereby preventing mechanical pressure on the plasma membrane, suppressing cytoplasmic  $\text{Ca}^{2+}$  elevation, calmodulin activation, and the formation of auxin pumps in the distal statocyte. The result is disruption of plant growth polarisation, in line with the hormonal inhibitory theory of plant gravitropism [21; 22]. Cytoskeletal elements in plant statocytes play a major role in the transmittal of gravitropic stimuli [16], and responses in other axial organs proceed according to a common scheme [19; 22].

Biospace cultivation experiments have been followed by intensive methodological and technical improvements. Special cultivators have been developed (e.g., IFS, "Growth", "Svitoblok 1", "Bio-container") along with corresponding analyzers for the experimental setup. Within NASA programs (1995–1997), experiments "Orangery", "Orangery 2", and "Orangery 3" grew three generations of rape-seed, demonstrating seed viability in space and resistance of morphological, anatomical, and biochemical characteristics to spaceflight factors [18; 19; 22]. Meta-analyses of plant transcriptomes in space confirm the consistent response mentioned previously [20].

In the Svitlo greenhouse, experiments under ground and flight conditions demonstrated high biomass growth and favourable taste in leafy

vegetables such as Chinese cabbage, using salt-saturated Balkan zeolite as a substrate. However, productivity was reduced eight-fold during spaceflight, highlighting key research tasks such as: 1) comparing productivity on different substrates, 2) determining maximum biomass achievable without replacement of substrates, 3) extending vessel service life, and 4) optimizing substrate volume per plant. Cereals, particularly wheat (USU Apogee), were included to provide dietary carbohydrates and proteins [22]. Microgravity effects on wheat included slight reductions in leaf nitrogen, 40% decrease in non-protein nitrogen, and an 18–25% decrease in photosynthesis [19].

Spaceflight studies aboard Biosatellite II, Cosmos, and Salyut/Space Shuttle platforms revealed microgravity-induced changes in ultrastructure, including photosynthetic tissues [19; 20; 23]. Some of the species-specific effects observed include  $\text{CO}_2$  assimilation decrease in cowpea, but the reverse was true for oat seedlings, and epiphytic orchids maintained near-ground RuBisCO activity [25]. Advanced greenhouses such as Lada mitigate growth inhibition via capillary-porous substrate moisture control, optimized lighting ( $\sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), and automated monitoring ( $<100 \text{ W}$ ).

Microgravity cultivators for *Arabidopsis thaliana* enable full ontogeny cycles in space, facilitating studies of rhizosphere and endophytic bacterial communities for Plant Microbial Community (PMC) development. Cultivation without substrate replacement requires long-lived PMCs. Experiments with *Brassica rapa* in microgravity chambers showed chloroplast ultrastructural changes: increased cell size, chloroplast number, stromal thylakoid elongation, partial vesiculation, destacking of grana, and plastoglobule accumulation. PMCs coordinate growth, reproduction, and environmental stress response [11; 23].

Chloroplastogenesis studies reveal proplastid-etioplast transformation as the foundation for photosynthetic energy systems. Distal chloroplast localization maximizes photosynthetic surface, and spatial heterogeneity of pigment-protein complexes ensures flexible energy flow [24]. Mitochondrial ultrastructure reflects photosynthetic load. Photomembrane architecture, lipid/protein ratios, PS1/PS2 distribution, and carotenoid content contribute to photomembrane formation and repair.

Experiments with barley (*Hordeum vulgare*) and *B. rapa* under clinostat conditions using vermicompost-based Vermistim demonstrated adaptive modifications in chloroplast ultrastructure, mesophyll heterogeneity, starch and plastoglobule accumulation, and thylakoid rearrangements [25]. Integration of microbial inoculants mitigated stress

effects, enhanced chloroplast biogenesis, and stabilized photomembrane architecture, providing a strategy for long-lived PMCs in terrestrial and space systems [11; 23].

### CONCLUSIONS

1. Microgravity and clinorotation significantly influence chloroplast ultrastructure, mesophyll organization, and photosynthetic metabolism.

2. Application of biofertilizers enhances plant adaptation under altered gravity.

3. Formation of productive PMCs is essential for sustainable cultivation in artificial systems and bioregenerative life support technologies in spaceflight.

These results deepen understanding of plant structural and functional plasticity under environmental stress and inform optimization of controlled agroecosystems for terrestrial and extraterrestrial food production.

### REFERENCES

- Korsa, G., Ayele, A., Haile, S., & Alemu, D. (2025). Hydroponic farming: Innovative solutions for sustainable and modern cultivation techniques. In *Agricultural Sciences. IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.1008336.
- Rajaseger, G., Chan, K. L., Tan, K. Y., Ramasamy, S., Khin, M. C., Amaladoss, A., & Haribhai, P. K. (2023). Hydroponics: Current trends in sustainable crop production. *Bioinformation*, 19(9), 925–938. doi: 10.6026/97320630019925.
- Rathore, V., & Nema, S. K. (2025). A nitrogen alternative: Use of plasma-activated water as a nitrogen source in hydroponic solution for radish growth. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 45(4), 1103–1123. doi: 10.1007/s11090-025-10569-w.
- Fitter, A. H., & Hay, R. K. M. (2002). *Environmental physiology of plants* (3<sup>rd</sup> ed.). Academic Press.
- Fussy, A., & Papenbrock, J. (2022). An overview of soil and soilless cultivation techniques — Chances, challenges, and the neglected question of sustainability. *Plants*, 11(9), 1153. doi: 10.3390/plants11091153.
- Lohar, A., Thapa, A., & Tamang, A. (2025). Hydroponic cultivation in horticultural crops: Technological advances, nutrient management and production efficiency. *Journal of Advanced Agricultural Research*, 1(3), 14–26. doi: 10.65525/jaar.v1i3.14.
- Austria, A. C. H., Fabros, J. S., Sumilang, K. R. G., Bernardino, J., & Doctor, A. C. (2023). Development of an IoT smart greenhouse system for hydroponic gardens. *International Journal of Computing Sciences Research*, 7, 2111–2136. doi: 10.25147/ijcsr.2017.001.1.149
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry — A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293. doi: 10.17660/eJHS.2018/83.5.2.
- Mihrete, T. B. (2025). Crop substrates for sustainable hydroponic farming. In *Hydroponic farming — A modern agriculture technique. IntechOpen*. doi: <https://www.intechopen.com/chapters/1193876>.
- Buckner, A., Lang, S., & Loureiro, R. (2025). Physiological and transcriptional responses of *Arabidopsis thaliana* to simulated lunar and Martian regolith substrates. *arXiv*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2505.13583> ПРЕПРИНТ.
- De Micco, V., Amitrano, C., Mastroleo, F., Aronne, G., Battistelli, A., Carnero-Diaz, E., & Leys, N. (2023). Plant and microbial science and technology as cornerstones to bioregenerative life support systems in space. *npj Microgravity*, 9, 69. doi: 10.1038/s41526-023-00317-9.
- Cowles, J. R., Lemay, R., & Jahns, G. (1988). Microgravity effects on plant growth and lignification. *Astrophysical Letters and Communications*, 27, 223–228. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11539286/>.
- Halstead, T. W., & Dutcher, F. R. (1987). Plants in space. *Annual Review of Plant Physiology*, 38, 317–345. doi: 10.1146/annurev.pp.38.060187.001533.
- Kordyum, E. L. (1994). Effects of altered gravity on plant cell processes: Results of recent space and clinostatic experiments. *Advances in Space Research*, 14(8), 77–85. doi: 10.1016/0273-1177(94)90388-3.
- Ruyters, G., Spiero, F., Legué, V., & Palme, K. (2014). Plant biology in space. *Plant Biology*, 16(Suppl. 1), 1–3. doi: 10.1111/plb.12129.
- Kordyum, E., & Hasenstein, K. H. (2021). Plant biology for space exploration — Building on the past, preparing for the future. *Life Sciences in Space Research*, 29, 1–7. doi: 10.1016/j.lssr.2021.01.003.
- De Pascale, S., Arena, C., Aronne, G., De Micco, V., Pannico, A., Paradiso, R., & Roupheal, Y. (2021). Biology and crop production in Space environments: Challenges and opportunities. *Life Sciences in Space Research*, 29, 30–37. doi: 10.1016/j.lssr.2021.02.005.
- National Aeronautics and Space Administration. (2000, December). Seed-to-seed success in space. *Space Life Sciences Research Highlights*. Retrieved from <https://taskbook.nasaprs.com/tbp/SBArchives/2000%20red%20banner/Musgrave--seed%20to%20seed%20space%20Musgrave.pdf>.
- Musgrave, M. E. (2007). Growing plants in space. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2(065). doi: 10.1079/PAVSNNR20072065.
- Barker, R., Kruse, C. P. S., Johnson, C., Saravia Butler, A., Fogle, H., Chang, H.-S., ... Gilroy, S. (2023). Meta-analysis of the space flight and microgravity response of the *Arabidopsis* plant transcriptome. *npj Microgravity*, 9(1), 21. doi: 10.1038/s41526-023-00247-6.
- Lewis, N. G. (1994). *Effect of microgravity on plant growth* (NASA-CR-196004). Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/citations/19940030751>.
- Zabel, P., Bamsey, M., Schubert, D., & Tajmar, M. (2016). Review and analysis of over 40 years of space plant growth systems. *Life Sciences in Space Research*, 10, 1–16. doi: 10.1016/j.lssr.2016.06.004.
- Berg, G., Kusstatscher, P., Abdelfattah, A., Cernava, T., & Smalla, K. (2021). Microbiome modulation — Toward

- a better understanding of plant microbiome response to microbial inoculants. *Frontiers in Microbiology*, 12, 650610. doi: 10.3389/fmicb.2021.650610.
24. Croce, R., & van Amerongen, H. (2011). Light-harvesting and structural organization of Photosystem II: From individual complexes to thylakoid membrane. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104(1–2), 142–153. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2011.02.015.
  25. Adamchuk-Chala, N., & Chala, Y. (2023). Greening of barley seedlings under changed gravity conditions. *Scientific Collection "InterConf+", 40(183)*, 376–391. doi: 10.51582/interconf.19-20.12.2023.036.

## ШТУЧНІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ДЛЯ НАЗЕМНОГО Й КОСМІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА: РОСЛИННО-МІКРОБНІ КОМПЛЕКСИ ТА МЕХАНІЗМИ АДАПТАЦІЇ

**Н. І. Адамчук-Чала**

доктор біологічних наук

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

Університет Макгілла (м. Монреаль, Канада)

e-mail: nadiaadamchuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2743-002X>

**С. Субраманіан**

доктор наук у галузі рослинництва

Університет Макгілла (м. Монреаль, Канада)

e-mail: sowmyalakshmi.subramanian@mcgill.ca;

**М. Лефсруд**

доктор наук з фізіології рослин

Університет Макгілла (м. Монреаль, Канада)

e-mail: mark.lefsrud@mcgill.ca;

**Є. О. Чала**

магістерка з прикладних наук у галузі людського харчування

Університет Макгілла (м. Монреаль, Канада)

e-mail: yelyzaveta.chala@mail.mcgill.ca; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0286-3597>

У статті проаналізовано сучасний стан розвитку штучних біологічних систем (ШБС) для контрольованого землеробства на Землі та в умовах космічних польотів. Розглянуто потенціал рослинно-мікробних комплексів (РМК) у гідропонних і субстратних системах, а також механізми адаптації рослин до мікрогравітації та модифікованих фізичних умов. Узагальнено результати експериментів, виконаних у наземних лабораторіях, на орбітальних комплексах і в мікрогравітаційних культивуальних модулях. Показано, що мікрогравітація суттєво впливає на ультраструктуру хлоропластів, фотосинтетичний апарат, цитоскелет і гормональну регуляцію рослин. Доведено, що включення біодобрив і мікробних інокулянтів підвищує адаптивні можливості культур у контрольованих середовищах. Визначено ключові напрями оптимізації технологій для сталого вирощування рослин у системах біорегенеративного забезпечення життєдіяльності.

**Ключові слова:** вирощування в контрольованому середовищі, гідропонне живлення, біорегенеративні системи життєзабезпечення, ультраструктура хлоропластів, фотосинтетичний метаболізм, реакції на гравітаційні чинники, ризосферні взаємодії, застосування біодобрив.

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**АДАМЧУК-ЧАЛА Надія Іванівна** — доктор біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії аерокосмічного зондування агросфери, Інститут агроекології і природокористування НААН України (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: nadiaadamchuk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2743-002X>).

**СУБРАМАНІАН Соум'ялакшмі** — доктор наук у галузі рослинництва, кафедра рослинництва, факультет природничих наук, кампус Макдональд, Університет Макгілла (2111, Lakeshore Rd, м. Сент-Анн-де-Бельвю, провінція Квебек, Канада, H9X 3V9; e-mail: sowmyalakshmi.subramanian@mcgill.ca).

**ЛЕФСРУД Марк** — доктор наук з фізіології рослин, кафедра біоресурсної інженерії, факультет природничих наук, кампус Макдональд, Університет Макгілла (2111, Lakeshore Rd, м. Сент-Анн-де-Бельвю, провінція Квебек, Канада, H9X 3V9; e-mail: mark.lefsrud@mcgill.ca).

**ЧАЛА Єлизавета** — магістерка з прикладних наук (M.Sc. (A.)), Школа харчування людини, факультет природничих наук, кампус Макдональд, Університет Макгілла (2111, Lakeshore Rd, м. Сент-Анн-де-Бельвю, провінція Квебек, Канада, H9X 3V9; e-mail: yelyzaveta.chala@mail.mcgill.ca; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0286-3597>

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

### ВИМОГИ ДО ПОДАННЯ СТАТЕЙ

Під час подання рукопису до журналу автори повинні підтвердити його відповідність всім встановленим вимогам, вказаним нижче. У разі виявлення невідповідності поданої роботи пунктам цих вимог редакція повертатиме авторам матеріали на доопрацювання. Це подання раніше не було опубліковане і не надсиалося до розгляду редакціям інших журналів (або у коментарях для редактора нижче дані необхідні пояснення). Файл подання є документом у форматі Microsoft Word, OpenOffice, RTF. Інтернет-посилання у тексті супроводжуються повними коректними адресами URL. Текст набраний 14-м розміром кеглю з одинарним міжрядковим інтервалом; авторські акценти виділені курсивом, а не підкресленням (всюди, крім адрес URL); всі ілюстрації, графіки та таблиці розміщені безпосередньо у тексті, там, де вони повинні бути за змістом (а не у кінці документу). Текст відповідає вимогам до стилістики та бібліографії, викладеним у Керівництві для авторів розділу "Про журнал".

Якщо матеріал подається у рецензований розділ журналу, при оформленні файлу подання були виконані інструкції щодо Гарантій сліпого рецензування.

### ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Представлені для публікації статті мають бути оригінальними (раніше не опублікованими в інших виданнях), в яких висвітлено результати наукових досліджень зі статистичною обробкою даних, що мають теоретичне та/чи практичне значення, а також є актуальними, відповідати профілю журналу та мати новизну. Статті оглядового характеру приймають за авторства провідних українських та зарубіжних учених, визнаних фахівців у своїй галузі, як правило, докторів наук.

Статті подають українською або англійською мовою.

До розгляду приймаються наукові статті обсягом від 10 до 20 сторінок, включаючи анотації, таблиці, рисунки та бібліографічні списки. Якщо стаття містить вагомий науковий результат, за рішенням редакційної колегії її обсяг може бути збільшено. Формат паперу — А4, орієнтація — книжкова, поля з усіх сторін — 20 мм, міжрядковий інтервал — 1,5, кегль шрифту — 14, гарнітура — Times New Roman, абзац — 1,25 см (не допускається створення абзацного відступу за допомогою клавіші Tab і

знаків пропуску); текст вирівнюється по ширині. Обов'язковим є використання в тексті тире, а не дефіса між цифрами на означення кількісних меж від... до... (напр., 3–5 га) або часового інтервалу (напр., 2010–2015 рр.).

#### Структура статті:

- Тематична рубрика (напр., "Економіка", "Екологія", "Агрономія", "Лісове господарство").
- Індекс УДК (вирівнювання відповідно до лівого краю).
- Назва статті українською мовою (вирівнювання по центру, напівжирний шрифт, великі літери).
- Ініціали та прізвище авторів (вирівнювання по центру, напівжирний шрифт), науковий ступінь і вчене звання, місце роботи/навчання (із вказанням країни, міста), адреса електронної пошти для кожного співавтора, код ORCID ID автора (вирівнювання по центру, курсив).
- Анотація (українська мова, обсяг 200–250 слів (1800–2000 знаків з пробілами), курсив) Анотація повинна бути інформативною і змістовною. Має відображати вихідні дані, методологію та результати проведення досліджень, висновки та сферу застосування результатів. Будь ласка, не використовуйте невизначені скорочення або не вказані посилання.
- Ключові слова (5–10 слів), жодне з яких не дублює слова з назви статті.
- Текст статті з урахуванням необхідних елементів (наведені нижче).
- Література.
- References.
- Анотація (не менше 2000 знаків) та ключові слова англійською мовою.
- Відомості про авторів (розширені) українською мовою.

Текст статті з відображенням у ній обов'язкових елементів згідно з вимогами МОН України має таку послідовність:

**ВСТУП** (постановка проблеми). Повинен містити актуальність наукової проблеми, наводяться відомі в світовій літературі факти із зазначенням ще невирішених аспектів питання. Завершується вступ характеристикою мети роботи — "виявити...", "охарактеризувати...", "з'ясувати...", "описати..."

**АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ**, повинен розкрити стан досліджень проблеми у вітчизняній і світовій науковій літературі, включаючи посилання на статті у провідних вітчизняних і міжнародних фахових журналах (не менше 10) за останні 5 років.

**МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Наводиться детальне викладення методів і методик з посиланням на першоджерело (схеми дослідів, повторність, методи лабораторного аналізу, методи статистичної обробки).

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.** Викладення результатів має зводитись не до переказу змісту таблиць і рисунків, а до визначення обґрунтованих закономірностей. В обговоренні результатів слід висвітлити причинно-наслідкові зв'язки між одержаними ефектами, порівняти одержані дані.

**ВИСНОВКИ** з проведеного дослідження (підсумки дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі; висновки мають відповідати меті).

**ЛІТЕРАТУРА.** У статті має бути наведено не менше ніж 10–15 джерел (оформлення відповідно до ДСТУ 8302:2015). Посилання на використані в тексті джерела робляться за зразком: [2], декілька джерел відділяються крапкою з комою [1; 4–6].

**REFERENCES.** Бібліографічний опис у романській абетці, який здійснюється відповідно до стандарту APA (American Psychological Association).

Оглядова стаття може мати будь-яку кількість розділів із будь-якими назвами. Висновок обов'язковий.

Таблиці (Excel або Word, кегль 12) розміщуються у тексті відразу після його першого подання. Вони повинні бути згадані і пронумеровані послідовно (напр., табл. 1). Назви таблиць (напівжирний шрифт, кегль 14, вирівнювання по центру), що надають інформаційний заголовок розташовані у верхній їх частині, а порядковий номер зліва перед назвою. Кожен стовпець повинен мати коротку назву. Таблиці будуть відтворені у журналі, як представлено в остаточному поданні. Подробиці статистики та опису слід розміщувати під таблицею в якості виноски. Використовуйте зірочки для значень значущості та інших статистичних даних.

Рисунок повинен бути єдиним графічним об'єктом і згрупованим; мати номер і назву, що вказується поза об'єктом (кегль шрифту — 14, напівжирний, міжрядковий інтервал — 1, розміщення по ширині).

Розташування рисунку має бути в тексті. Рисунки повинні бути згруповані та виконані в чорно-білому форматі (лише книжний). Букви і символи повинні бути пояснені у підписі, і тільки у виняткових випадках — на малюнку. Підписи рисунків повинні бути доступні для редагування. Якість ілюстрацій повинна забезпечувати їхнє чітке відтворення. Графічні матеріали не повинні бути сканованими.

На всі рисунки й таблиці давати посилання в тексті. Усі рисунки мають супроводжуватися підрисунковими підписами, а таблиці повинні мати заголовки.

Не можна посилатися на національні стандарти, технічні умови, підручники, навчальні посібники та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти доцільно робити у тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту, не зазначаючи у списку джерел.

Формули (зі стандартною технічною нумерацією) мають бути виконані в редакторі Microsoft Equation. Всі формули повинні бути вказані у тексті і пронумеровані послідовно: наприклад, (1). Цифри та підписи формул повинні бути хорошої якості, а також доступні для редагування.

Після списку використаних джерел надається відомості про автора (-ів) українською мовою: прізвище, ім'я, по батькові повністю; науковий ступень, вчене звання кожного автора; повна назва організації — місця роботи/навчання, із наведенням повної поштової адреси; адреса електронної пошти та телефон для кожного автора (зазначити для контактування); ORCID (за наявності) для кожного автора.

У наступному блоці інформація англійською мовою — відомості про автора, назва статті, анотація (більш розширена), ключові слова. Анотація має відображати вихідні дані, предмет, мету дослідження, метод або методологію проведення роботи, результати роботи, висновки та сферу застосування результатів. Переклад матеріалів, що подаються англійською мовою, повинен бути виконаний або відредагований професійним перекладачем. Комп'ютерний переклад не допускається. Якщо текст статті англійською мовою виконано не професійно, потребує значного обсягу редагування, він може бути повернений автору на доопрацювання або відхилений від публікації.

Згідно зі стандартами міжнародних систем цитування, автори статей також мають подавати список використаних джерел (References) відповідно до вимог APA (American Psychological Association). У випадку, якщо стаття підготовлена українською мовою, реферат українською мовою розміщується на початку статті, а далі наводиться її англійський варіант. У разі підготовки статті англійською мовою, послідовність розміщення рефератів — протилежна.

Всі автори мають підписати статтю на останній сторінці.

Рукопис необхідно надіслати у вигляді одного файлу у форматі Microsoft Word на адресу:

nature\_us@ukr.net.

Телефон редакції: (044) 522-33-36.

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ АГРОЕКОЛОГІЇ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

